



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Factores a considerar en la
elaboración de un
Plan Nacional de
Nanotecnología en México**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTAN:

Canuto Carranco Mayra
Cruz Bravo Marilú
Reyes Angeles Alejandra
Vergara Maldonado Elvia Ivonne

DIRECTOR: M. en C. Carlos A. Morán Moguel

*CIUDAD UNIVERSITARIA, D. F.
Marzo de 2006*





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México

Gracias por darnos la oportunidad de ser parte de tu comunidad y poner a nuestra disposición lo necesario para tener una formación integral. Gracias a tu diversidad conocimos distintas formas de ser y pensar, y entendimos la trascendencia de la vida.

Gracias a la Facultad de Ingeniería

Gracias por darnos las herramientas y la formación necesaria para comenzar nuestro camino en la Ingeniería, por ser nuestra casa durante estos años y ser un punto de encuentro de experiencias, amistades y oportunidades.

Tus hijas; Ivonne, Marilú, Mayra y Alejandra

A mi Mamá:

Por ser la luz de mis ojos, por llenarme de amor día a día y apoyarme en todo momento, por tu gran ejemplo, por darme siempre tu mano y guiarme con tus mejores valores y principios en un marco de moralidad. Por tu abnegación y por darme un ejemplo de vida, además de procurar mi salud física y espiritual.

A mi Papá:

Por apoyarme siempre y en todo momento, por darme toda tu comprensión y por estar al pendiente de mí en todas las etapas de mi vida pero sobre todo por darme un excelente ejemplo en todos estos años. Gracias por tu lucha incesante por sacar adelante a nuestra familia, por consentirme tanto con tu incomparable amor y reprenderme para sacar lo mejor de mí. A ti porque en gran medida soy lo que soy gracias a ti.

A mis hermanos:

Por estar siempre a mi lado y ayudarme siempre que lo necesito; a Jorge por enseñarme tanto y retarme desde pequeña para ser una persona exitosa; a Vicky por ser tan flexible y comprensiva y a Ivonne por estar a mi lado y apoyarme siempre.

A Mario:

Por ser un motor muy importante en mi vida, por ser mi gran compañero a lo largo de estos años, por llenarme de amor, comprensión y ternura, por levantarme cada vez que me siento desvalida, por motivarme e impulsarme siempre, por sacar lo mejor de mí y hacerme conocer el valor de las personas. Por todos tus consejos y por enseñarme que todo se puede conseguir si de verdad se desea, por enseñarme a luchar y a ser feliz, por ayudarme a entender la razón de la vida y por pensar siempre en mi bienestar. Gracias por ofrecerme todo lo que eres, por dejarme llorar en tu hombro y compartir juntos mis alegrías.

A Carlos Morán:

Por ser como mi segundo padre, por confiar en mí, por todas sus enseñanzas y predicar con el ejemplo. Por apoyarme siempre, por contribuir enormemente a mi formación y motivarme a crecer como persona y profesionista. Por ser un gran ejemplo en mi vida y un excelente Profesor, Jefe y Amigo. Gracias por darme las alas para volar.

A Gustavo Rocha:

Por ser mi gran amigo, por estar siempre al pendiente de mí y siempre tener tiempo para escucharme, por llenarme de cariño y enseñarme el valor de la amistad. Por enseñarme día con día a ser feliz y motivarme a ser mejor persona.

A Marilú e Ivonne:

Mil gracias por todo, me llena de alegría que en el proceso de elaboración de la presente tesis, además de cumplir con los objetivos planeados a través de nuestro esfuerzo y desvelo, hayamos logrado cimentar esta amistad tan grande que nos unirá para siempre. Gracias por hacerme reír, por acompañarme en mis logros y fracasos y por crecer junto conmigo.

Mayra

A mi padre, **Ricardo Cruz**, porque me has permitido elegir, con libertad, el camino que estoy siguiendo, sin dejar de ofrecerme tu consejo y educarme con el ejemplo.

A mi madre, **Mariluz Bravo**, ya que cuidaste de mí con ternura cuando lo necesité, y me dejaste valerme por mi misma cuando fue el momento de hacerlo.

A mis hermanos **Carmen Cecilia, Ricardo y Edaliz**, porque, al final y al cabo, la sangre es más densa que el agua.

A mi mejor amiga, **Evelyn Salazar**, porque me aceptas tal cual soy, aun cuando no siempre estás de acuerdo con mis acciones y mis decisiones. Estar contigo me hace reír y me da un sitio seguro en donde llorar.

A mis compañeras de tesis y amigas, **Mayra Canuto e Ivonne Vergara**, porque juntas construimos el camino cuando no había ninguno a la vista, y nos hicimos grandes amigas durante el proceso.

A todos las personas que me han brindado su apoyo, cariño y confianza, muy especialmente a **Federico Valle, Claudia Cervantes, Victoriano Angüis, Laura López, José René Ramírez y Thania Bobadilla**.

Un agradecimiento especial al **Ing. Carlos Morán Moguel**, mentor y maestro, y al **Ing. Gustavo Rocha Beltrán**, maestro y amigo, quienes en todo momento mostraron su interés y apoyo incondicional, más allá de la elaboración de este proyecto. Mil gracias por la confianza y el amor depositados en mi persona.

Marilú

A mi Madre:

Por ser el pilar más importante en mi vida, por estar siempre a mi lado; celebrando mis triunfos y alegrías, pero sobre todo por nunca dejarme caer en mis tristezas y fracasos. Gracias porque a pesar de que tu tarea de ser padre y madre no era fácil, supiste desempeñarla como nadie. Gracias por todo tu amor y paciencia. Gracias por ayudarme a cumplir el sueño que empezó hace algunos años y hoy se convierte en realidad.

A mi Padre:

Gracias, porque a pesar de no estar físicamente a mi lado, siempre estás en mi corazón, y sé que desde donde quiera que te encuentres hoy compartes este sueño conmigo. Gracias por ser la luz que me cuida desde el cielo.

A mis hermanos:

Mario, Lupita, Bertha y Felipe, gracias por su apoyo y consejos, porque siempre están a mi lado y fueron pieza clave en mi vida para cumplir este sueño. Gracias porque todos ustedes más que mis hermanos, son como unos segundos padres para mí.

A Gerardo:

Gracias por celebrar conmigo los momentos más importantes de mi vida y estar a mi lado en los momentos más difíciles. Gracias por compartir hoy este sueño, que es el comienzo de muchos por conquistar, pero sé que a tú lado y con tu amor el camino será más fácil. Te amo!

A Carlos Morán:

Gracias por todo su apoyo y consejos, gracias por haberme mostrado el camino como el gran líder que es, pero sobre todo gracias por haber confiado en mi

A Gustavo Rocha:

Gracias por todo su apoyo y conssejos. Gracias porque siempre tuvo la frase exacta para hacerme sentir mejor; gracias por todo su cariño, porque usted siempre ha sabido ser más que un profesor o un jefe, un muy buen amigo.

A mis compañeras:

Mayra, Marilú e Ivonne; gracias por ser parte de este sueño, gracias por todos aquellos momentos de alegría, risas compartidas y enseñanzas que me dejaron

A Dios:

Gracias por haberme permitido lograr este sueño, por llenarme de bendiciones y por otorgarme la familia y amigos y que poseo.

Alejandra

Índice

Capítulo I. Introducción	1
I.1 Contexto.....	1
I.2 Metodología.....	13
I.2.1 Ubicación del sistema.....	14
I.2.2 Análisis del entorno	16
Capítulo II. Nanociencia y nanotecnología.....	22
II.1 Cuestión de tamaño. Los inicios de la nanotecnología	22
II.2 Divisiones de la nanotecnología.....	24
II.2.1 Nanotecnología húmeda	24
II.2.2 Nanotecnología seca.....	25
II.3 Nanoestructuras de carbono	25
II.3.1 Fullerenos	26
II.3.2 Nanotubos.....	28
II.3.3 Propiedades	30
II.4 Herramientas de la nanotecnología.....	33
II.4.1 Microscopio de Efecto Túnel	33
II.4.2 Microscopio de Fuerza Atómica	35
II.5 Fabricación de nanoestructuras	37
II.5.1 Técnicas “top-down”	37
II.5.2 Técnicas “bottom-up”.....	39
II.5.3 Técnicas en experimentación.....	39
II.6 Aplicaciones	40
II.6.1 Materiales.....	40
II.6.2 Membranas de porosidad controlada	44
II.6.3 Sensores	45
II.6.4 Catalizadores	46

II.6.5 Microelectrónica y tecnologías de la información	46
II.6.6 Industria automotriz	47
II.6.7 Energía y Medio ambiente.....	47
II.6.8 Tecnologías para la vida y la salud	49
II.6.9 Aplicaciones presentes en el mercado o de cercana comercialización	50
II.6.10 Ciencia ficción en la nanotecnología	51
II.7 Nanotecnología y desarrollo industrial	52
II.7.1 Oferta y demanda.....	52
II.7.2 Instrumentación científica.....	53
II.7.3 Factores que condicionan el desarrollo industrial de la nanotecnología	54
II.7.4 Investigación y desarrollo industrial.....	54
II.8 Etapas proyectadas de la nanotecnología.....	55
II.9 Reflexiones en torno a la nanotecnología	56
II.9.1 Consideraciones respecto a implicaciones sociales y económicas de la nanotecnología	57
II.9.2 Regulaciones y normas en nanotecnología.....	62
Capítulo III. Nanotecnología en el mundo	64
III.1 Nanotecnología y el mundo.....	64
III.2 Análisis de patentes	66
III.3 Iniciativas nacionales	71
III.3.1 Inversiones mundiales.....	71
III.3.2 Planes Nacionales.....	73
III. 4 Estados Unidos	74
III.4.1 National Nanotechnology Initiative	74
III.5 Canada.....	91
III.5.1 Canadian Nanotechnology Initiative	91
III.6 Unión Europea	94
III.6.1 Alemania	96
III.6.2 España	101

III. 7 Asia	102
III.7.1 Japón.....	103
III.7.2 China	105
III.7.4 Corea.....	110
III.8 América Latina	113
III.8.1 Argentina	113
III.8.2 Costa Rica.....	114
III.8.3 Brasil	115
Capítulo IV. Nanotecnología en México.....	117
IV.1 Ciencia y tecnología en México. Situación actual	117
IV.2 Nanociencia y nanotecnología en México.Situación actual.....	122
IV.2.1 Programas y subsidios.....	127
IV.2.2 Tópicos de investigación.....	129
IV.2.3 Empresas trabajando con nanotecnología.....	134
IV.2.4 Grupos de investigación.....	140
IV.2.5 Percepción de la situación de la nanotecnología en México, según algunos expertos	152
Capítulo V. Factores a considerar en la elaboración de un Plan Nacional de Nanotecnología.....	156
V.1 Justificación	156
V.2 Antecedentes de un Plan Nacional de Nanotecnología en México..	162
V.3 Visión, misión y objetivos del Plan Nacional de Nanotecnología	165
V.4 Estrategias	167
V.4.1 Infraestructura.....	167
V.4.2 Instituto Mexicano de Nanotecnología	168
V.4.3 Creación de “clusters”	173
V.4.4 Formación de recursos humanos.....	176
V.4.5 Trama social del desarrollo tecnológico	178
V.4.6 Apoyo gubernamental	181

V.4.7 Seguimiento	184
V.4.8 Difusión	186
Capítulo VI. Conclusiones	187
VI.1 Claves para el Plan Nacional de Nanotecnología	189
VI.2 Factores para el éxito.....	190
VI.3 Recomendaciones	191
VI.4 Primeros pasos	192
VI.5 Acciones para el desarrollo del Plan Nacional de Nanotecnología.	192
VI.6 Rol de la Facultad de Ingeniería de la UNAM en el desarrollo de la nanotecnología en México	194
Anexos	196
Anexo A. Glosario	196
Anexo B. Productos basados en nanotecnología.....	201
Anexo C. Los 10 principales apoderados de patentes Nanotecnológicas.....	210
Anexo D. Investigación y desarrollo en nanotecnología: las compañías de alimentos y bebidas más grandes del mundo.....	211
Anexo E. Patentes de nanotecnología para comestibles y su empaque	213
Anexo F. Entrevistas realizadas a expertos mexicanos en nanotecnología.....	218
Bibliografía.....	241

Capítulo I

Introducción

I.1 Contexto

El conocimiento alcanzado en los últimos años se caracteriza por el volumen, la velocidad y el perfil disruptivo de la información científica generada. Aunados a los descubrimientos surgen retos y oportunidades que generan posibilidades reales de usar los conocimientos científicos y tecnológicos para acortar la brecha entre los países desarrollados y los que están en vías de desarrollo.

La historia del desarrollo tecnológico nos demuestra que algunos avances en ciencia y tecnología han cambiado de manera radical la vida de las personas: sus métodos de producción, sus hábitos, e incluso, su manera de percibir el mundo. En los últimos años se ha comenzado a discutir sobre la capacidad de medir, manipular y organizar la materia en la nanoescala; es decir, manejando átomos y moléculas. Un nanómetro (nm) es una mil millonésima parte de un metro, o una millonésima parte de un milímetro; sin embargo, la nanotecnología, encargada de la investigación y desarrollo a esta escala, no es sólo miniaturización, sino un campo totalmente nuevo, regido por propiedades y procesos únicos. A ese nivel la física, la química, la biología y la ingeniería se enfrentan a nuevas propiedades debido a que los materiales dejan de comportarse de manera tradicional. Aunque la nanotecnología está todavía en sus inicios, los impactos que se avizoran implican cambios trascendentales en prácticamente todos los aspectos de la vida de nuestra sociedad: salud, industria, información, medioambiente, defensa, etc.

La nanociencia es investigación básica que se realiza a escala nanométrica en las áreas de la física, la química y la biología. La nanotecnología es la aplicación de la nanociencia y como ésta, es un área multidisciplinaria, que se basa en varias disciplinas de la ingeniería, como la electrónica, mecánica, química aplicada; y en especializaciones de la biología, la física, etc. La aplicación de los conocimientos derivados de la nanociencia y su aplicación permitirán diseñar, fabricar y manipular materiales, sustancias y dispositivos de dimensiones nanométricas con múltiples ventajas: menos volumen, menor consumo de energía, mejores propiedades, nuevas funciones, etc.

En el estudio de la nanotecnología han surgido dos divisiones. La *nanotecnología seca* se refiere a la obtención de estructuras a partir de materiales no biológicos, como la fabricación de estructuras de carbono. La *nanotecnología húmeda* estudia las estructuras provenientes de materia viva u orgánica, como los ribosomas, las enzimas y el material genético; e intenta reproducir su comportamiento en dispositivos que funcionen de manera biológica.

Algunas veces la nanotecnología es confundida con los *MEMS* (*Sistemas Micro-Electro-Mecánicos*) ya que ambas disciplinas trabajan a escalas muy pequeñas. Basta decir que el área de la nanotecnología es hasta los 100 nm. La menor escala de un dispositivo hecho con MEMS (1 micrómetro) es mil veces más grande que un nanómetro.

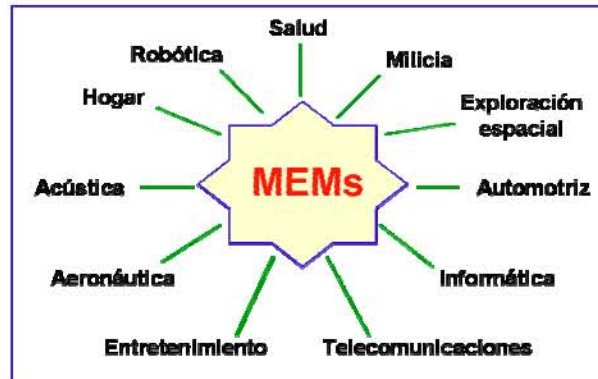


Figura I.1 Campos de aplicación de los MEMS

Sin embargo, y a pesar de sus diferencias, los MEMS y la nanotecnología no son campos mutuamente excluyentes. Las investigaciones y los logros de ambos campos permiten el desarrollo de una y otra disciplina. Actualmente los MEMS tienen un progreso que adelanta en cuanto a aplicaciones concretas a la nanotecnología. Los primeros productos MEMS aparecieron a principios de los 90's, aunque estas microtecnologías se han estudiado desde la década de los 60's. El caso de desarrollo de la industria de los MEMS puede ser muy interesante como experiencia para aquellas personas que tienen en vista a la nanotecnología como motor de la siguiente revolución industrial.

Al igual que la nanotecnología, los MEMS son un campo interdisciplinario que requiere del trabajo conjunto de la química, la física y de varias disciplinas de la ingeniería. El proceso que se sigue para el desarrollo de los MEMS es el mismo que para cualquier tecnología: investigación básica, investigación aplicada y, finalmente, el desarrollo de productos comerciales.

En la Universidad de Nuevo México están desarrollando un proyecto que involucra a la industria, a instituciones educativas y al gobierno, conjunto de esfuerzos al que han denominado *triple hélice*, para desarrollar un "cluster" de MEMS; es decir, un grupo geográficamente próximo de empresas e instituciones asociadas e interconectadas, en un campo particular, y vinculadas por características comunes y complementarias. Por parte del sector gubernamental *Sandia Lab.* y *Los Alamos Air Force Research Lab.* son las instituciones de investigación que apoyan este programa; estos laboratorios facilitan sus instalaciones e infraestructura para realizar investigación, diseño y análisis de dispositivos MEMS. La Universidad de Nuevo México participa con su departamento de Ingeniería realizando actividades de investigación y capacitando recursos humanos, además de apoyar a los laboratorios con su Programa de Gestión de Tecnología (*Management of Technology Program - MOT*) que imparte cursos como Gestión Estratégica de la Tecnología, Pronóstico y Evaluación Tecnológica, Desarrollo e Innovación de Productos, Capital de Riesgo y Alianzas Estratégicas, Gestión de Proyectos, y otros. Del sector industrial participan empresas, muchas de ellas de reciente creación, interesadas en estas tecnologías y que colaboran en áreas como sensores, biotecnología y telecomunicaciones.

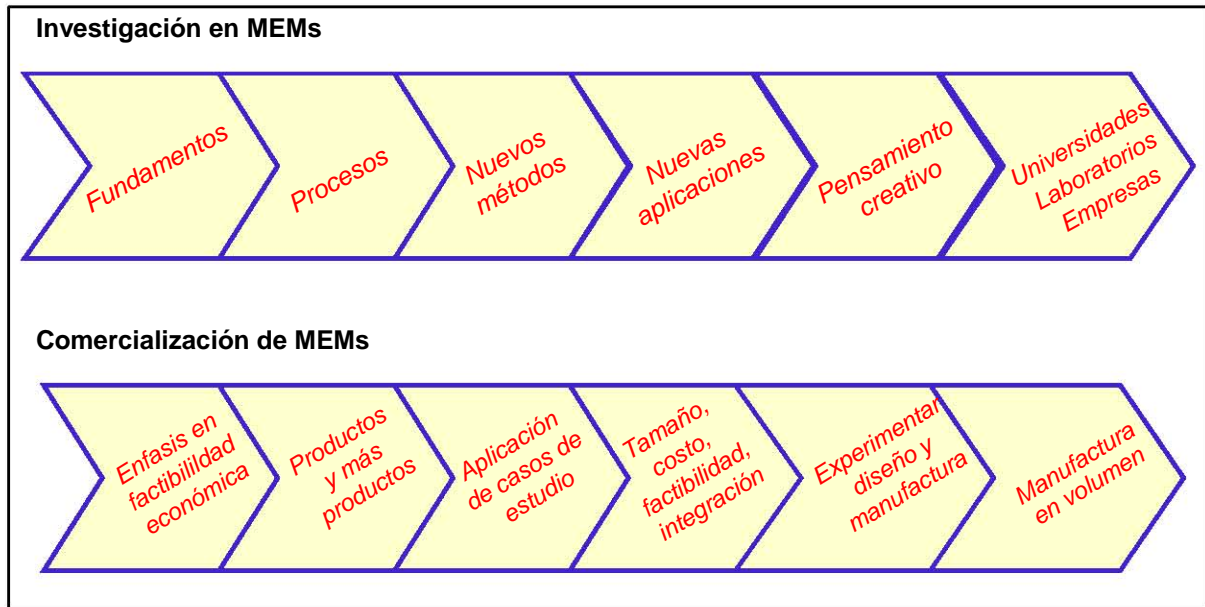


Figura I.2 Proceso de desarrollo de MEMS

Fuente: Dr. Andrés Salazar, Primera Reunión de MEMS en México, septiembre de 2003.

El caso de los MEMS y su desarrollo puede servir para encausar los esfuerzos que se dan actualmente en el área de la nanotecnología. Un análisis serio de los aspectos comunes que tienen ambas tecnologías, sin olvidar sus diferencias o discrepancias, puede marcar el camino a seguir para llevar la nanociencia a realidades comerciales, y que surja una industria nanotecnológica como la presente y exitosa industria de MEMS.

Algunos especialistas aseguran que la nanotecnología será la próxima revolución industrial. Al respecto, Neal Lane, quien fue Director de la Oficina de Políticas de Ciencia y Tecnología, en Estados Unidos, comenta: *“Si nos hubiéramos preguntado por una área de la ciencia y la ingeniería que muy probablemente producirá el cambio radical del mañana, yo apuntaría a la ciencia y la ingeniería a la escala nanométrica (...) se espera que el impacto social total de la nanotecnología sea mucho mayor que el de los circuitos integrados, porque esto es aplicable en muchos más campos que sólo la electrónica”*¹.

Merrill Lynch es una de las empresas líderes a nivel mundial en consultoría y administración financiera. Con oficinas en 35 países, sus servicios sirven de guía para decisiones de índole estratégica en grandes corporaciones privadas, instituciones gubernamentales y pequeñas empresas. Merrill Lynch considera que la nanotecnología es el próximo paso lógico en la miniaturización y que su impacto en la industria es sólo cuestión de tiempo: *“Creemos que la nanotecnología puede ser la próxima gran innovación para el desarrollo, siguiendo los pasos de las tecnologías de información. Como el internet, la nanotecnología puede ser sobre*

¹ Peter Gruter. “Nanotechnology education: some thoughts”. Canadá, mayo de 2003.

estimada en el corto plazo, pero las grandes barreras en su introducción irán disminuyendo durante el proceso de adaptación, haciendo rentable este sector en el largo plazo.”².

“Creemos que la nanotecnología es la próxima gran ola en tecnología. El reto que enfrentamos como inversionistas de capital de riesgo es tender un puente entre el aquí y ahora, con un futuro nanotecnológico de largo plazo. El *Merrill Lynch Nanotech Index* permite a los inversionistas y administradores seguir el progreso de la nanotecnología y su evolución. Este nuevo campo será el nexo de las ciencias, y es apropiado que el equipo de estrategia tecnológica de Merrill Lynch esté tomando el liderazgo en la investigación de este campo multidisciplinario”.³

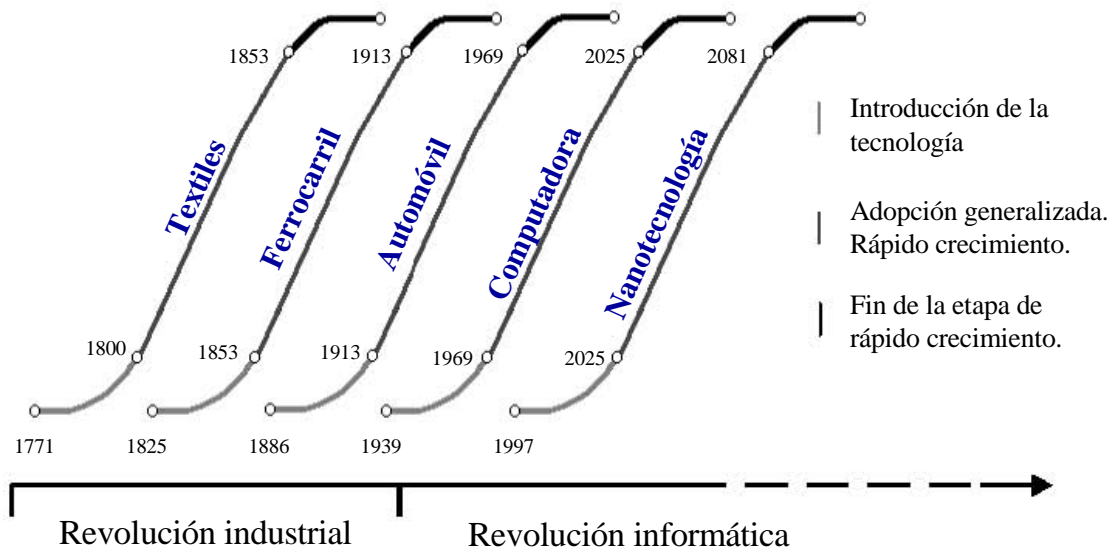


Figura I.3 “Las mejoras en ciencia y tecnología se dan, de manera aproximada, dos veces en un siglo, y liderean la creación masiva de riqueza”. Norman Poire. Merrill Lynch.

Estados Unidos es uno de los países que cuentan con un plan nacional de desarrollo de nanotecnología, surgido durante la administración de Bill Clinton, en enero de 2000. El actual presidente, George W. Bush, destinará para este plan (National Nanotechnology Initiative) un presupuesto de 1,050 millones de dólares para 2006. Esta cifra representa un incremento de 6.3% sobre el presupuesto correspondiente de 2005, y 126.3% sobre el de 2001.

Además del importante esfuerzo federal que se realiza en EEUU, existen varias instituciones públicas y privadas dedicadas a difundir y promover los avances e inversiones en esta área. Una de estas instituciones, The Foresight Institute, es dirigida por Richard Drexler, uno de los precursores de la nanotecnología.

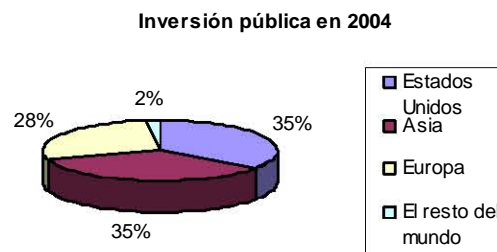
² Milunovich Steven, Fan Zhen-Hong. “Merrill Lynch Nanotech Index”. Estados Unidos, 2004.

³ Steven Juvetson, Director de Draper Fisher Juvetson, empresa especializada en capital de riesgo que brinda asesoría para la identificación y abarcamiento de áreas de innovación.

Como Estados Unidos, muchos países están incluyendo entre sus prioridades de investigación y desarrollo el área de la nanotecnología. Japón consolida gran parte de su investigación en el *Nanotechnology Research Institute*, parte del *National Institute of Advanced Industrial Science and Technology*, así como en el *Nanotechnology Researchers Network Center of Japan*. Francia y Alemania han creado un Nano Valley o "Corredor de Nanotecnología" en el norte del río Rin. Reino Unido ha establecido un *Programa de Enlace en Nanotecnología* y desde su *Institute of Nanotechnology*, suma los esfuerzos europeos al incluir multinacionales como *Glaxo SmithKline*, *ABB*, *Merck*, *Syngenta*, *Unilever*, y a los institutos de investigación *London Centre for Nanotechnology* y *The Scottish Centre for Nanotechnology in Construction Materials*; por mencionar unos cuantos miembros. Países como Corea, Finlandia y China están trabajando de manera ardua en nanotecnología, con programas nacionales y grandes inversiones.

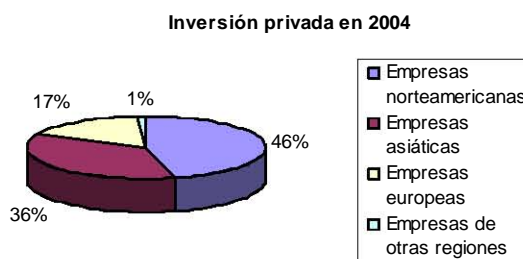
Según el documento *The Nanotech Report 2004*, publicado por *Lux Research*⁴, la inversión total en el sector de nanotecnología en todo el mundo superó los \$8.6 mil millones de dólares en 2004. De estas inversiones, el sector público habrá aportado \$4.6 mil millones de dólares. Estos fondos públicos se reparten por regiones en el mundo de la siguiente forma:

- Estados Unidos, \$1,600 millones
- Asia, \$1,600 millones
- Europa, \$1,300 millones
- El resto del mundo, \$133 millones



Por otra parte, el sector privado gastó unos \$3.8 mil millones de dólares en investigación y desarrollo de nanotecnología durante 2004. Dicho gasto se reparte por regiones de la siguiente manera:

- Empresas norteamericanas, \$1,700 millones
- Empresas asiáticas, \$1,400 millones
- Empresas europeas, \$650 millones
- Empresas de otras regiones, \$40 millones



Gráfica I.1 Inversiones en el sector nanotecnológico.
Fuente: "The Nanotech Report 2004", Lux Research.

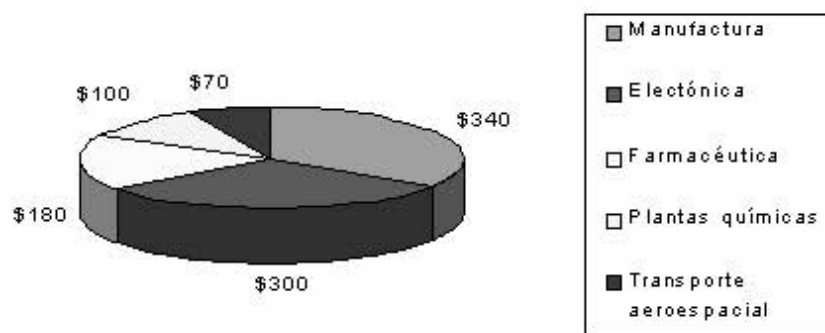
En cuanto al mercado de la nanotecnología, la National Science Foundation (NSF) de Estados Unidos, en su documento "Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology" publicado en 2001, estima que de 2010 a 2015, el mercado

⁴ Lux Research es una empresa de investigación y consultoría enfocada en el negocio e impacto de la nanotecnología y áreas emergentes relacionadas. El *Nanotech Report 2004* perfila más de mil empresas y estructuras y estrategias de inversión, oportunidades de patentes, tendencias y datos de competitividad; así como entrevistas con expertos de la industria y actores importantes del campo.

mundial de productos y servicios nanotecnológicos será del orden de un billón de dólares anuales. De esta proyección, se desprenden los siguientes pronósticos:

- **Manufactura:** se estima que los procesos y materiales nanoestructurados incrementen su impacto en el mercado en cerca de 340 mil millones.
- **Electrónica:** la proyección es alrededor de los 300 mil millones para la industria de los semiconductores y la misma cantidad en venta global de circuitos integrados.
- **Farmacéutica:** cerca de la mitad de toda la producción puede depender de la nanotecnología, superando los 180 mil millones.
- **Plantas químicas:** en los catalizadores nanoestructurados con aplicaciones en el petróleo y en los procesos de la industria química se estima un impacto anual de 100 mil millones.
- **Transportación:** los nanomateriales y dispositivos nanoelectrónicos producirán vehículos ligeros, rápidos y seguros; y a un menor costo, más durables y confiables, carreteras, puentes, autopistas y sistemas de rieles; en donde sólo los productos aeroespaciales tienen un mercado proyectado de cerca de 70 mil millones de dólares.
- **Sustentabilidad:** puede mejorar la producción agrícola, proveerá filtros y desalinización del agua más económicos, posibilitará fuentes de energía renovables, tal como la conversión altamente eficiente de la energía solar; en donde las proyecciones indican que avances en iluminación basados en nanotecnología tienen el potencial para reducir el consumo global de energía en más del 10%, ahorrando 100 mil millones de dólares por año, con una correspondiente reducción de emisión de 200 millones de toneladas de carbón.

Proyecciones de mercado de productos basados en nanotecnología (miles de millones de dólares)



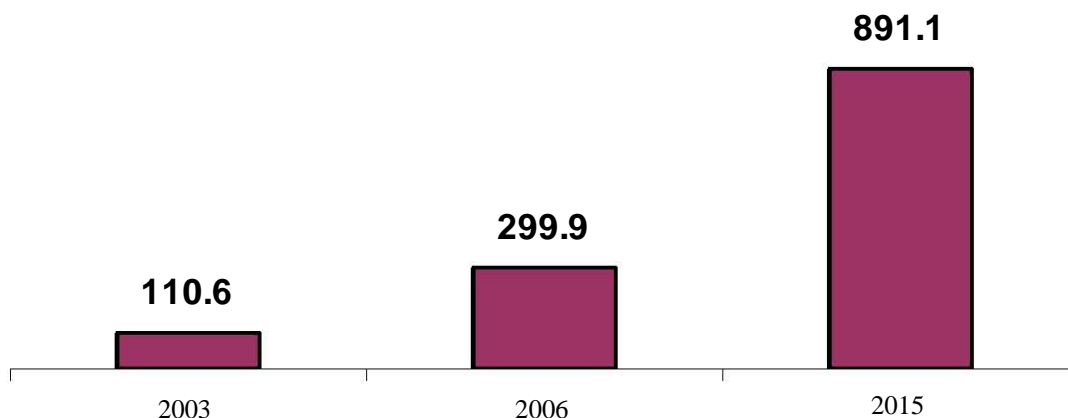
Gráfica I.2
Mercado de la nanotecnología (2010-2015)
Fuente: Nacional Science Foundation, EU, 2001

Los canadienses, a través de Neil Gordon y la *Canadian Nanobusiness Alliance*, proyectan para 2005 un mercado de 100 mil millones de dólares, 800 mil millones para 2010 y doblan la cifra proyectada por la NSF en 2015, es decir, vislumbran un mercado de 2 billones de dólares⁵.

⁵ Neil Gordon, Canadian Nanobusiness Alliance, "Job Opportunities in Nanotechnology", University of Waterloo. Canadá, marzo de 2003.

Helmut Kaiser Consultancy es una empresa que elabora estrategias internacionales y estudios de mercado sobre tecnología para pequeñas y grandes empresas e instituciones gubernamentales. Cuenta con un equipo multidisciplinario, el cual publicó en 2003 el *Resumen sobre el estado de la Industria Nanotecnológica a nivel mundial, 2003-2015*. Según este documento “a nivel mundial hay más de 4000 empresas e institutos de investigación que están enfrentándose a la nanotecnología. Hay aproximadamente 1900 enfocadas a productos y servicios, y 1020 limitadas a productos. El gasto a nivel mundial en investigación y desarrollo fue de 7,400 millones de dólares en 2002 y se incrementará hasta 26,000 en 2006, por parte del gobierno y la industria. Las naciones líderes son Estados Unidos, Japón, China y Alemania. China es ahora uno de los líderes mundiales en términos de nuevas empresas dedicadas a nanotecnología, en los pasados tres años, el número de empresas en este campo ha crecido hasta alcanzar hoy 600. Esta tasa de crecimiento es muy rápida y no muestra señales de disminución”⁶.

Mercado proyectado de nanotecnología, 2003-2015 (miles de millones de dólares)



Gráfica I.3 Mercado nanotecnológico 2003-2015

Fuente: “Report: Summary about the state of Nanotechnology Industry Worldwide 2003-2015”. Helmut Kaiser consultancy, 2003.

⁶ Helmut Kaiser Consultancy. “Report: Summary about the state of Nanotechnology Industry Worldwide 2003-2015”. Noviembre de 2003.

	2002	2006	2010	2015
Total	110,6	299,9	516,9	891,1
Materials	39,1	108	179	279,2
Electronics	52	129	160	246,4
Life Industries	4,9	18,4	84	172,5
Chemicals	4,4	14	43	82,1
Aerospace	3,4	12	22	57,5
Modeling Tools	3,6	7	9,1	16,4
Sustainability	3,2	11,5	19,8	37

Tabla I.1 Desarrollo mundial del mercado de las aplicaciones de la nanotecnología (miles de millones de dólares)

Fuente: Report: Summary about the state of Nanotechnology Industry Worldwide 2003-2015. Helmut Kaiser Consultancy, 2003.

	2002	2006	2010	2015
World	110.6	299.9	516.9	891.1
NAFTA	82.9	179.9	258.4	409.9
Europe	12.1	74.9	155.7	267.3
Asia	11	32.9	77.5	169.4
Others	4.4	11.9	25.8	44.5

Tabla I.2 Desarrollo mundial del mercado de la nanotecnología, por regiones (miles de millones de dólares)

Fuente: Report: Summary about the state of Nanotechnology Industry Worldwide 2003-2015. Helmut Kaiser Consultancy, 2003.

Ante estas proyecciones de mercado se hace evidente la necesidad de capacitar recursos humanos en nanotecnología. Una de las primeras propuestas para crear un programa de capacitación de recursos humanos para el desarrollo de Nanotecnología se dio en Canadá, en la Universidad de Watterloo, en mayo de 2003. Este programa incluye química, física e ingeniería de nanoestructuras y nanosistemas y teoría y técnicas usadas para diseñar, fabricar o caracterizar estas tecnologías. Se hace énfasis en capacitar con instrumentación y técnicas modernas usadas en el desarrollo y la investigación de estas áreas emergentes. La Universidad otorga el grado de Licenciado en Ciencias Aplicadas (BASc) en Ingeniería Nanotecnológica. Este programa conjunta esfuerzos de tres departamentos: el Departamento de Ingeniería Química, el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación y el Departamento de Química. Este programa de licenciatura comenzó en septiembre de 2005.

The BASc program in Nanotechnology Engineering starts in September 2005.

Academic Curriculum: Nanotechnology Engineering

<i>1A Fall</i>		C	T	L
NE 111	Calculus 1 for Engineering	3	2	0
NE 101	Class Professor Seminar	1	0	0
NE 112	Linear Algebra with Numerical Applications	3	2	0
NE 113	Engineering Computation	3	1	2
NE 121	Chemical Principles	4	1	0
NE 131	Physics for Nanotechnology Engineering	3	1	0

<i>1B Winter</i>		C	T	L
NE 122	Introductory Organic Chemistry: Environmental	3	1	0
NE 122L	Environmental Organic Chemistry Laboratory	0	0	3
NE 114	Calculus 2 for Engineering	3	2	0
NE 100	Introduction to Nanotechnology Engineering	3	1	1
NE 102	Class Professor Seminar	1	0	0
NE 115	Probability and Statistics	3	1	0
NE 141	Electromagnetism	3	1	1.5
NE 151	Introduction to Inorganic Chemistry, Materials Science and Engineering	3	1	1.5

Figura I.4 Plan de estudios de la carrera de Ingeniería Nanotecnológica de la Universidad de Waterloo, en Canadá. Fuente: <http://www.nanotech.waterloo.ca/curriculum.htm>

En cuanto a difusión, uno de los trabajos de más trascendencia es el enfocado a estudiantes jóvenes: Nanokids, de Rice University, en Estados Unidos. Este proyecto busca facilitar la comprensión del estudiante en las áreas de la química, física, biología e ingeniería, a nivel molecular; así como proveer material didáctico a los profesores y, adicionalmente, promover la participación y financiamiento a la investigación de esta área. El fin principal es llamar la atención de los más jóvenes, concientizarlos de la actualidad y gran potencialidad de la nanotecnología

y anticipar y preparar desde ahora los recursos humanos que serán necesarios en un futuro cercano.



Figura I.5 Personajes del Programa Nanokids, de Estados Unidos. Los muñecos moleculares semejan humanos. Sus cuerpos están hechos de carbono e hidrógeno y sus ojos son átomos de oxígeno; cada uno tiene dos nanómetros de alto. Estas moléculas antropomórficas son parte del programa educativo que se está realizando en ocho escuelas de Texas. Este sistema educativo utiliza un disco de ayuda para enseñar a niños entre once y trece años los fundamentos de la química.

Esto es sólo un vistazo al gran revuelo que está causando la nanotecnología. Las principales potencias y algunos países emergentes enfocan ésta como una área estratégica, y realizan grandes inversiones en investigación básica, desarrollo de infraestructura y capacitación de recursos humanos. Esta gran movilización de científicos, gobiernos y gente de negocios nos hace pensar que algo grande está por pasar.

Estudios macroeconómicos de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) demuestran que el crecimiento de un país está directamente relacionado con su inversión en investigación y desarrollo experimental (IDE)⁷:

⁷ Foro Consultivo Científico y Tecnológico: “Inversión para impulsar la Investigación Científica y el Desarrollo Tecnológico en México”. México, septiembre de 2004.

- La inversión en ciencia y tecnología es la causa del 25% del crecimiento económico en países en vías de desarrollo y de cuando menos el 50% en los países desarrollados.
- Por cada 1% de crecimiento en inversión gubernamental en IDE, la productividad se incrementa en 0.17%.
- La Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) del gasto nacional en IDE debería ser de 18% para lograr el nivel de autosuficiencia. En México, del año 2000 al 2004, la TMCA es menor a 3%.
- Los países que invierten en IDE, logran un marcado crecimiento en el ingreso per cápita de su población y en el lugar de competitividad como país.

Es común afirmar que la inversión en ciencia y tecnología es motor del crecimiento económico. Si el país invierte en investigación científica y desarrollo experimental crecerá más, aumentará su competitividad, se promoverá el desarrollo social y hasta elevará la protección del medio ambiente. La realidad es, sin embargo, más compleja. Tanto depende la inversión en IDE de las condiciones económicas de un país, como esto último de la inversión en IDE; esto es válido para el sector público como el privado. En general, si una economía mantiene un fuerte ritmo de crecimiento, el gasto en ciencia y tecnología tiende a aumentar. Si la economía se encuentra en recesión crónica o atraviesa por periodos de aceleración y freno, la inversión en IDE tiende a decrecer o al menos a permanecer estancada.

Por eso es crucial analizar la relación entre el marco macroeconómico y la inversión en investigación científica y tecnológica. En México, el estancamiento del Producto Interno Bruto (PIB), la incertidumbre, la volatilidad, la política monetaria restrictiva y los recortes presupuestales son factores clave que determinan el comportamiento del gasto público y privado en IDE.

La innovación tecnológica no es algo que caracterice los resultados de la investigación científica que se hace en nuestro país. En el ámbito tecnológico nuestro país se ha dedicado a ser un espectador de la gestación de las innovaciones. Actualmente estamos observando el nacimiento de lo que, según los pronósticos, ofrecerá soluciones en casi todos los ámbitos y representará una de las principales economías. La nanotecnología es también una oportunidad de disminuir la brecha que nos separa de los países que son líderes en desarrollo tecnológico; al menos en este tema. La creación de riqueza en México no será inmediata, ni será resultado de una sola tecnología, pero un plan que promueva y apoye de manera efectiva el desarrollo de nanociencia y nanotecnología puede ser la fuerza que rompa con la inercia actual y contribuya a la creación de riqueza como producto de la innovación tecnológica.

El *Foro Consultivo Científico y Tecnológico* es el órgano autónomo y permanente de consulta del Poder Ejecutivo Federal, del Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico y de la Junta de Gobierno del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y asesora, a través de convenios, al Congreso de la Unión y al Consejo de la Judicatura Federal. Este organismo publicó en 2004 un documento donde se discuten propuestas de carácter fiscal,

dirigidas a los legisladores a fin de lograr un mayor apoyo presupuestal en IDE a partir del 2005. En este documento se establece el desarrollo de capacidades en nanociencia y nanotecnología como uno de los principales retos y prioridades del sector educación. El interés por desarrollar estas tecnologías existe, pero falta desarrollar una planeación estratégica con objetivos y metas que marquen el camino a seguir por la comunidad científica, el sector educativo, la industria y el gobierno.

Esta planeación debe establecer un marco de acción para las redes de trabajo que existen y las que serán creadas en México y que fomentarán la colaboración en investigaciones y desarrollos innovadores. Debe establecer las condiciones necesarias para brindar capacitación a la próxima generación de científicos e ingenieros especializados en nanotecnología. Es importante, además, que como complemento al plan sea creado un centro de investigación y desarrollo que brinde la infraestructura necesaria. Un proyecto de esta naturaleza representa retos importantes:

- La nanotecnología involucra el trabajo conjunto de científicos de diferentes disciplinas (físicos, químicos, biólogos, ingenieros, etc.)
- Empezar investigación en nanotecnología implica inversiones significativas en instalaciones y equipo.
- Los investigadores en nanociencia y nanotecnología están actualmente esparcidos por toda la república (D.F., Querétaro, Morelos, San Luis Potosí, Baja California, Chihuahua, entre otros) y hay poca integración entre ellos.
- No existen programas específicos en el tema para preparar la próxima generación de científicos.
- Son necesarias estrategias para flexibilizar las posiciones con respecto al cambio.
- Actualmente la investigación se centra en universidades y centros públicos de investigación; hay poco interés por parte de las empresas para desarrollar o contribuir a la generación de nuevos conocimientos.

Este Plan Nacional de Nanotecnología fortalecerá la capacidad del país para acelerar el crecimiento cualitativo y cuantitativo de una masa crítica con capacidades de liderazgo en el área de nanotecnología.

El objetivo de esta tesis es proponer, basándonos en el análisis de planes similares de otros países y sus actividades relacionadas, la estructura y contenido de un plan nacional de desarrollo de nanotecnología en México. El reto al que nos enfrentamos implica ubicarnos en el contexto científico, económico y político de México y adecuar los hallazgos de nuestro análisis a la situación de México. Esperamos que el resultado de nuestro esfuerzo sea de utilidad y despierte el interés en la nanotecnología, y que esta pequeña contribución fundamente una planeación estratégica, seria y formal, en beneficio del desarrollo integral de nuestro país.

I.2 Metodología

En este apartado describiremos la metodología de la planeación, herramienta de la Ingeniería Industrial que nos permitirá establecer un proceso que nos permita desarrollar esta propuesta de factores a considerar para la realización de un Plan Nacional de Nanotecnología en México.

La planeación consiste en diseñar el futuro deseado y los medios para conseguirlo. Cuando hablamos de planeación es importante hacerlo con un enfoque sistémico; es decir, abordando la realidad como un sistema. Un sistema se define como “un conjunto más o menos complejo de partes en mutua interacción, estando dicho conjunto en contacto con un entorno dado”.⁸ De esta manera se concibe al sistema como un escenario dinámico compuesto de una multitud de elementos, obligándonos a percibir las situaciones como un mosaico de elementos en mutua interdependencia y no como partes aisladas y fácilmente manejables. (Fig. I.6).

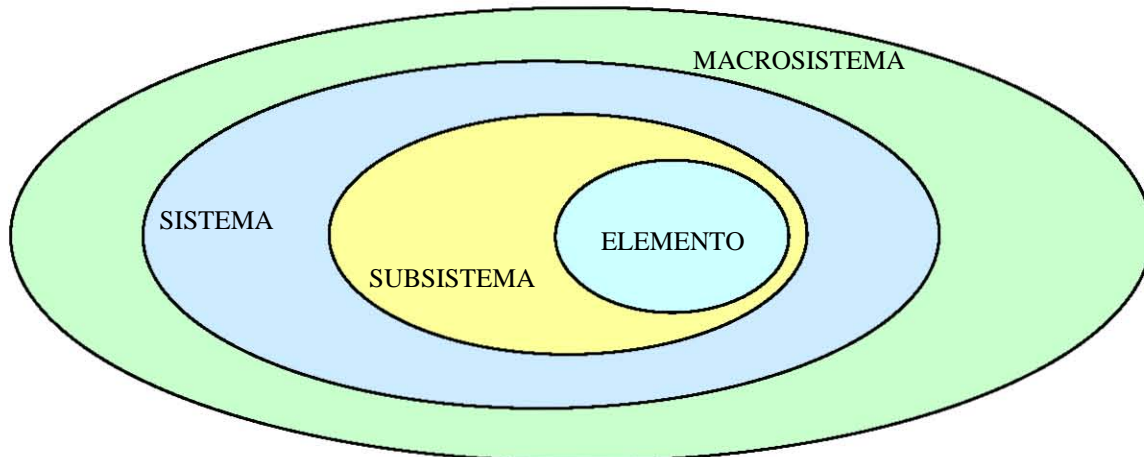


Figura I.6 Representación gráfica de un sistema.

Los sistemas se pueden clasificar en no existentes y existentes. Los primeros se refieren a problemas de creación, mientras que los segundos se refieren a problemas de corrección, mejoramiento, contracción o expansión.

Nuestro trabajo se ubica como un sistema no existente, ya que en la actualidad no se cuenta con una iniciativa formal de nanotecnología a nivel nacional, pese a los esfuerzos que han realizado algunos institutos como el que inicio el IPICYT (Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica), en el año 2002, y del cual hablaremos más tarde.

⁸ Pierre Collerete. *La planificación del cambio. Estrategias de adaptación para las organizaciones*, Ed. Trillas, México, 1988

Cuando se emprende la tarea de crear un sistema, se parte de una idealización, en la que se muestra la idea o imagen del objetivo deseado, esto es conocido normalmente como la visión. Para poder definir la visión debemos establecer a futuro lo que se pretende alcanzar en el desarrollo del sistema e identificar los aspectos estratégicos en los cuales se debe concentrar la atención para alcanzar el objetivo deseado. Para que la visión deje de ser una idealización y pueda convertirse en algo palpable, es importante que todos los integrantes del sistema compartan la misma visión, de esta manera todos los miembros se encontrarán conectados y vinculados por una aspiración común que conducirá a mejores resultados.

En el caso específico de nuestro proyecto el lograr una visión compartida juega un papel fundamental para su realización, ya que en la medida que esto sea posible, cada una de la partes involucradas en el sistema aportará la contribución que le corresponda. Nuestra visión del sistema demanda la participación de instituciones educativas, empresas y de la sociedad en general, para obtener un beneficio nacional a nivel económico y de bienestar general.

Una vez que se tiene la claridad conceptual acerca de lo que se pretende construir en el futuro, el esfuerzo se enfoca en aquellas actividades que nos conducirán a la ejecución de los objetivos. Para este punto se hace uso de la metodología de la planeación, abarcando en este trabajo las siguientes fases: ubicación del sistema, análisis del entorno y, a manera de propuesta, los temas en los que deben ser implementadas las estrategias que definirán el plan de acción.

I.2.1 Ubicación del sistema

Esta fase consiste en visualizar al sistema como un todo, como un conjunto de elementos humanos y mecánicos interrelacionados y estructurados para desempeñar la función de producir satisfactores para la sociedad. Para ubicar el sistema se requiere del análisis de tres dimensiones: la temporal, la espacial y la ubicación sectorial.

Dimensión temporal: tiene que ver con la duración del sistema, es decir el horizonte de planeación en el cual se pretende lograr los objetivos planteados. El horizonte de planeación puede ser a corto, mediano o largo plazo, dependiendo de la necesidad del sistema.

El horizonte de planeación que proponemos es de 20 años. Siendo una planeación a nivel nacional, que depende de factores tan diversos como la disposición política, la economía, los recursos humanos, etc. No será fácil ni rápido implementar las acciones y estrategias que proponemos, y que, en su mayoría, tendrán objetivos a largo plazo.

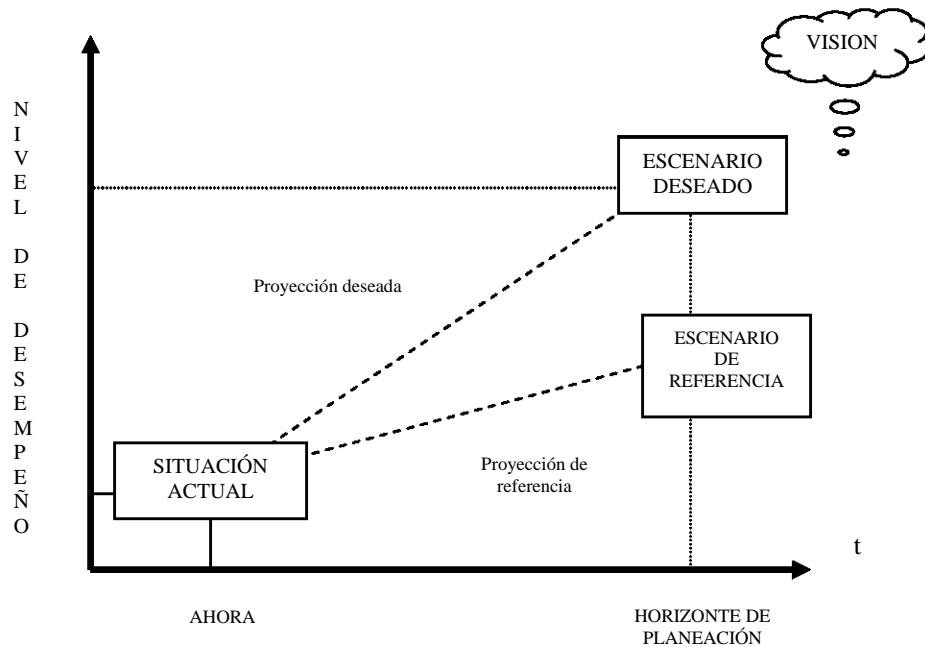


Fig. I.7 Representación gráfica del horizonte de planeación.
Morán Moguel Carlos, *Apuntes de planeación estratégica*, 2005.

Dimensión espacial: la dimensión espacial puede ubicarse en alguno de los siguientes niveles:

- a) Espacio mundial: corresponde al nivel máximo posible.
- b) Espacio internacional: este nivel se da cuando el sistema abarca sólo ciertos países.
- c) Espacio nacional: este nivel se da cuando el sistema involucra todo un país.
- d) Espacio regional: en este nivel se divide a un país en regiones.
- e) Espacio estatal: el sistema se considera a nivel entidad federativa.
- f) Espacio municipal: se refiere a la unidad política mínima en que puede enmarcarse un sistema.
- g) Espacio local: es cuando se hace referencia a una localidad específica.
- h) Espacio puntual: cuando se trata de una empresa ubicada en una localidad.

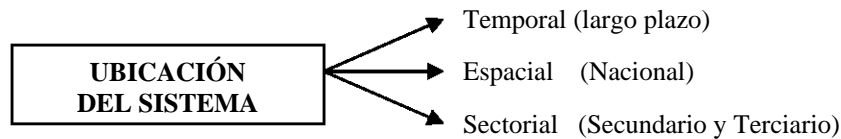
Ubicación sectorial: el tercer componente de un sistema es el sectorial, para esta ubicación se hace uso de los sectores económicos, los cuáles son:

- a) Sector primario (agricultura y pesca)
- b) Secundario (industrial)
- c) Terciario (comercio y servicio)

En el caso específico de nuestro proyecto, resulta difícil ubicarlo dentro de un solo sector, ya que desde nuestro punto de vista se encuentra en la intersección del sector secundario y terciario. El sector terciario está involucrado debido a la investigación que se requiere en el desarrollo de la nanotecnología, así como los

factores que involucran hacer posible dicha investigación. Por otra parte el sector secundario está involucrado ya que la investigación realizada en el sector terciario requiere ser transformada en productos benéficos para la sociedad, para lo cuál es importante contar con el apoyo de la industria.

De esta forma podemos establecer que nuestro sistema se encuentra ubicado de la siguiente forma:



La información desarrollada en el capítulo II nos facilitará la ubicación final del sistema.

I.2.2- Análisis de entorno

En términos generales, el análisis de entorno se refiere al conocimiento de los elementos específicos del sistema en cuestión. Para el caso de creación de nuevos sistemas, que es el caso de nuestro trabajo, el entorno lo constituyen el conjunto de sistemas existentes que llevan a cabo la misma función, en el mismo nivel sectorial y en el nivel inmediato superior. Para nuestro caso todas aquellas organizaciones que actualmente están desarrollando nanotecnología.

En esta fase se consideran factores como:

- Limitantes del sistema económico, político, social y cultural.
- Identificación de clientes
- Proveedores
- Recursos Financieros
- Análisis de competencia
- Impacto ambiental

Una vez identificadas las variables, se indaga sobre la situación de cada una de ellas.

Limitantes del sistema: Este punto considera todos los aspectos dentro de un marco regulatorio, que para fines del sistema en cuestión pueden ser obstáculos. En el caso específico de nuestro sistema nos dimos a la tarea de investigar algunos aspectos acerca de la Ley de Ciencia y Tecnología, inversiones, reglamento interno de la UNAM, y presupuestos para proyectos. Además de las limitantes identificadas en el marco regulatorio, percibimos algunas otras como son: la resistencia al cambio y la falta de visión del estado mexicano. El resultado de este análisis nos permite ubicar las restricciones, y a partir de ellas elaborar estrategias para vencerlas o para buscar nuevas alternativas.

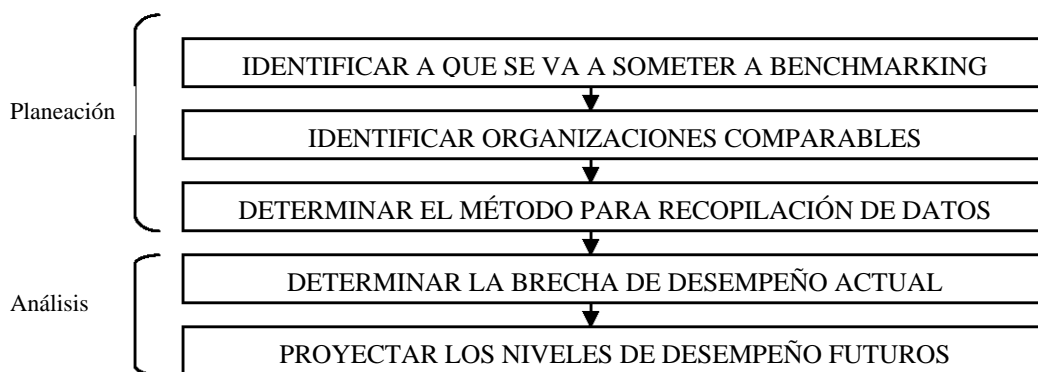
Identificación de clientes: Este punto tiene que ver con todas aquellos grupos que pudieran estar interesadas en un Plan Nacional de Nanotecnología. Dentro de esta búsqueda se contemplaron empresas, organizaciones gubernamentales, etc.

Proveedores: Se identifican todas aquellas organizaciones que nos puedan proveer de los insumos necesarios para hacer realidad el sistema. En este caso se realizó una investigación acerca de los institutos e instituciones que desarrollan nanotecnología en México, tomando en consideración aspectos como líneas de investigación, proyectos, número de investigadores, publicaciones etc. Esta información nos permite hacer una evaluación de la situación actual de la nanotecnología en México.

Recursos financieros: Se consideran aspectos relativos a inversiones, financiamiento, etc. Al respecto no se realizó una estimación cuantitativa de inversiones, sin embargo se presentan datos de erogaciones hechas por algunos países que cuentan con iniciativas nacionales en nanotecnología, las cuáles pueden servir como. En cuánto a fuentes de financiamiento, consideramos que son dos los sectores implicados y a quienes se debe prestar mayor atención dentro del Plan Nacional de Nanotecnología: el sector industrial y el gobierno federal.

Análisis de competencia: Se identifica a las organizaciones del mismo giro, encaminadas hacia la misma actividad que la del sistema *que deseamos crear*. Para identificar la competencia nos apoyamos en una herramienta llamada **benchmarking**, la cuál consiste en identificar las mejores prácticas de nuestros competidores, es decir, aquellas organizaciones reconocidas como líderes en el área de la nanotecnología.

Para la realización del benchmarking, seguimos el siguiente procedimiento:



Como se muestra es el esquema anterior, el benchmarking se dividió en dos fases, la de planeación y la de análisis. En la etapa de planeación se identificaron los aspectos sometidos al benchmarking, entre los que se encuentran: infraestructura, recursos humanos, inversiones y si contaban o no con iniciativas nacionales. Después de esto identificamos las organizaciones comparables, es

decir, aquellos países que desarrollan nanotecnología y cuentan con las características de evaluación seleccionadas para el benchmarking. El resultado de esta información nos permite establecer una comparación en términos cualitativos entre México y el mundo. En dicha comparación será necesario responder a cuestionamientos tales como si son o no mejores, por qué, cómo, qué prácticas están utilizando o se prevé serán utilizadas, y cómo se incorporarán o adaptarán sus prácticas en nuestro caso, etc. Estos cuestionamientos corresponden a la fase de análisis.

El objetivo del benchmarking es investigar y documentar las mejores prácticas y métodos que permitan el logro de las metas. Los beneficios que nos puede ofrecer un benchmarking se resumen en la siguiente tabla:

SIN BENCHMARKING	CON BENCHMARKING
Definición de las necesidades de los clientes	
Con base en el historial o en sensaciones propias	Realidad del mercado
Percepción	Evaluación objetiva
Baja adaptación	Alta conformidad
Establecimiento de metas y objetivos	
Carencia de un centro de atención externo	Creíble, indiscutible
Reactivo	Proactivo
Organización retrasada	Industria líder
Desarrollo de mediciones de productividad	
Perseguir los proyectos preferidos	Solución de problemas reales
Falta de comprensión de los puntos fuertes y débiles	Comprensión de los resultados
Vía de la solución más fácil	Basado en las mejores prácticas
Hacerse competitivo	
Centro de atención interno	Comprensión concreta de la competencia
Cambio evolutivo	Nuevas ideas de prácticas
Bajo compromiso	Alto compromiso
Las mejores prácticas de las organizaciones	
No fue inventado aquí	Búsqueda proactiva del cambio
Pocas soluciones	Muchas soluciones
Actividad frenética de seguir a la competencia	Desempeño superior

Tabla I.4. Razones fundamentales para utilizar benchmarking y resultados contrastantes
Camp, Robert, *“Benchmarking, the search for industry best practices that lead to superior performance”*

Como complemento a nuestro análisis de entorno, y con la finalidad de contar con más elementos para la elaboración de un plan de acción, utilizamos una herramienta de planeación conocida como **análisis FODA** (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas). Esta herramienta consiste en realizar un análisis interno y otro externo, la parte interna tiene que ver con las fortalezas y las debilidades del sistema, aspectos sobre los cuáles tenemos un grado de control; mientras que la parte externa tiene que ver con las oportunidades que

ofrece el mercado y las amenazas que debe enfrentar el sistema en el mercado seleccionado.

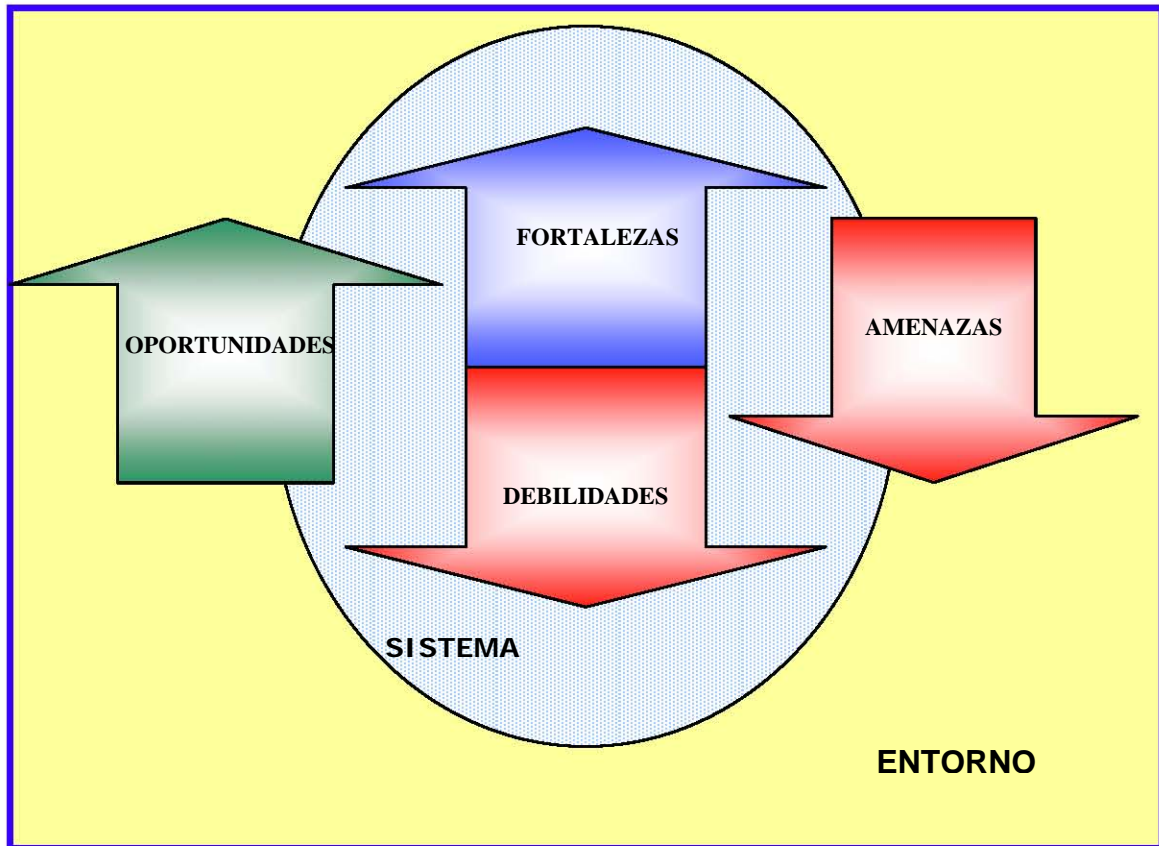


Fig I.7 Representación gráfica del análisis FODA

Fortalezas y Debilidades: Las fortalezas y debilidades se evalúan en el interior de las organizaciones, consisten en actividades que se pueden controlar, y que se caracterizan por hacerse bien o mal. Las actividades de investigación, desarrollo, infraestructura, recursos humanos, etc., pueden ser elementos que dan origen a las fuerzas y debilidades de un sistema. Las fuerzas y debilidades se establecen en comparación con la competencia; la superioridad o deficiencias relativas representan información muy valiosa.

Amenazas y Oportunidades: Estos términos se refieren a tendencias y hechos económicos sociales, culturales, demográficos, ambientales, políticos, jurídicos, gubernamentales y tecnológicos que pueden afectar o beneficiar a los sistemas. Las amenazas y oportunidades están en gran medida, fuera de control del sistema, pero ayudan a diseñar estrategias y líneas de acción. Los cambios en los sistemas productivos, los cambios poblacionales, los desastres naturales, la aprobación de una nueva ley, el cambio de valores, la exploración del espacio, son algunos ejemplos de amenazas y oportunidades para los sistemas.

Como se menciono en párrafos anteriores, nuestro sistema esta contemplado en el ámbito nacional, por lo que consideramos a México como el interior del sistema y al resto del mundo como el exterior. De esta forma las fortalezas y debilidades son analizadas en un entorno nacional, y las amenazas y oportunidades en un entorno mundial.

Para la determinación de fortalezas y debilidades se tomaron aspectos como: número de investigadores en el área, laboratorios de desarrollo de nanotecnología, programas de apoyo por parte de los institutos de investigación, entorno político del país, situación económica, porcentaje de inversión en ciencia y tecnología, participación de la industria, entre otras. En cambio para la determinación de oportunidades y amenazas se consideró el ambiente mundial en torno a la nanotecnología.

La elaboración de la matriz FODA tiene la finalidad de mostrar un panorama general de la situación del sistema fuera y dentro del entorno, sin embargo, para que un análisis FODA resulte funcional se deben tomar acciones para tratar de disminuir las debilidades, incrementar las fortalezas, considerar el impacto de las amenazas y aprovechar las oportunidades para alcanzar los objetivos, la misión y la visión definidas.

Las estrategias son muestran la dirección y el empleo general de los recursos para lograr los objetivos en condiciones ventajosas. Es por esto que en nuestro trabajo proponemos una serie de estrategias encaminadas a la creación de un Plan Nacional de Nanotecnología en México. Dichas estrategias pretenden dar solución a problemas como infraestructura, vinculación, formación de recursos humanos y financiamiento, entre otros.

Dentro de la planeación estratégica existen dos fases posteriores: la implantación y la operación - control. El alcance de nuestro proyecto no cubre estas fases, queda como una propuesta teórica de los aspectos a considerar para la formulación de un Plan Nacional de Nanotecnología en México. Sin embargo, pese a no ser abordadas las fases de implantación y operación - control, mencionaremos brevemente lo que debieran contemplar.

Implantación: Esta fase es donde se materializa el sistema; es decir, se traslada la conceptualización a hechos concretos. En el momento de la implantación se debe considerar que algunos aspectos habrán cambiado con respecto a las condiciones iniciales, es por ello que al implantar el sistema se debe hacer una revisión de aquellos elementos significativos que hayan variado para realizar las correcciones finales del diseño.

Operación - control: Una vez implantado el sistema, existe un periodo que transcurre desde la puesta en marcha de las operaciones hasta que éstas son ejecutadas satisfactoriamente. En la actividad productiva, la fase de control está dirigida hacia el logro de los objetivos planteados, y al mismo tiempo se hacen

modificaciones pertinentes para que el sistema funcione y se adapte a los cambios imprevistos.

Como ya se mencionó, el alcance de este trabajo no contempla las fases de implantación, ni de operación - control, sin embargo, esperamos que sea útil como fundamento para un análisis formal, del que resulte un Plan Nacional de Nanotecnología que nos permita adquirir una posición histórica de ventaja a nivel tecnológico.

Capítulo II

Nanociencia y nanotecnología

En la introducción se definió a grandes rasgos lo que es nanociencia y nanotecnología. En este capítulo reafirmaremos ambos conceptos analizando sus fundamentos teóricos y aplicaciones, con el fin de ampliar la comprensión del lector en esta área emergente y hacerle consciente de la necesidad de un Plan Nacional de Nanotecnología para México, que permita la participación de nuestro país en el desarrollo y los beneficios de esta tecnología.

En el desarrollo de este capítulo revisaremos diversos temas; desde las definiciones fundamentales hasta los conceptos más prácticos, pasando por sus divisiones, herramientas, técnicas de fabricación, potencialidades, etc. Finalmente haremos un análisis de la necesidad de regular esta área en aras de prevenir que aspectos controversiales impacten de manera negativa en su desarrollo.

II.1 Cuestión de tamaño. Los inicios de la nanotecnología.

La nanotecnología es la disciplina capaz de manipular la materia en dimensiones nanométricas. Un nanómetro es una millonésima parte de un milímetro; para expresarlo en términos formales, 1×10^{-9} m.

Un átomo del elemento más pequeño, el hidrógeno, mide aproximadamente una décima parte de un nanómetro y 258 átomos de carbono ocupan un volumen de un nanómetro cúbico. En consecuencia, la escala nanométrica es la escala adecuada para dimensionar átomos y moléculas.

La nanotecnología toma este nombre como consecuencia del fin que persigue: la manipulación y control de la materia desde su estructura básica, es decir, átomos y moléculas.

Se atribuye a Richard Feynman, premio nobel de física, la primera visión acerca de la nanotecnología. En diciembre de 1959, durante la Reunión Anual de la American Physical Society, en el Instituto Tecnológico de California, Feynman dictó una conferencia titulada “There is a plenty of room at the bottom”, que podría traducirse como “Hay mucho espacio (en qué trabajar) en la parte del fondo”. En este discurso Feynman afirmó *“los principios de la física, como yo lo veo, no hablan sobre la posibilidad de maniobrar cosas átomo por átomo. Esto no es un intento de violar*

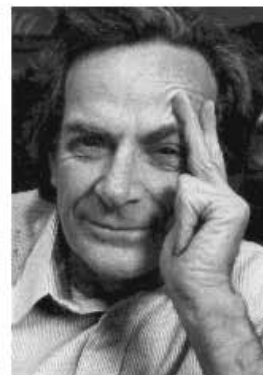


Figura II.1 Richard Feynman, primer gran visionario de la nanotecnología.

alguna ley; es algo que en principio se puede hacer; pero en la práctica no se ha hecho porque somos demasiado grandes”.



Figura II.2. Posible apariencia de los nanobots, propuestos por Drexler.

En 1986, Eric Drexler, con su libro *“Engines of creation. The coming era of nanotechnology”*, marcó el inicio de la discusión en torno al enorme potencial de la nanotecnología. *Engines of creation* se basa en la premisa de que lo que podemos lograr depende de lo que podemos construir. Analiza los posibles formas de ordenar los átomos y lo que se podría hacer con esta técnica: máquinas mucho más pequeñas que una célula; materiales más fuertes y ligeros que los disponibles hoy; dispositivos que viajen a través de vasos capilares reparando células para devolver la salud a los órganos enfermos, para revertir el envejecimiento o hacer nuestro cuerpo más rápido y más fuerte. Presenta la posibilidad de ensamblar máquinas más pequeñas que los virus, cuya velocidad de trabajo sería imperceptible, y una vez dominada la técnica, manufacturar millones de máquinas inteligentes, basadas en miles de millones de dispositivos con procesos paralelos; máquinas que imitarían a las estructuras vivas y que tendrían integradas sus propias instrucciones de crecimiento con la capacidad de autorreplicarse, llamadas por Drexler *“nanobots”*, mejorando la vida del hombre en todos los aspectos, o invadiendo en cuestión de segundos el planeta. Estas ideas fueron fuertemente cuestionadas, y se atribuyó a Drexler más capacidad de escribir ciencia ficción que para hacer proyecciones científicas. Actualmente Drexler es considerado uno de los más importantes precursores de la nanotecnología y es el presidente del *Foresight Institute*, una organización educativa sin fines de lucro, cuya misión es promover los avances tecnológicos, especialmente los de la nanotecnología.

El interés de los científicos por comprender el comportamiento de la materia a escalas cada vez más pequeñas dio inicio a la nanociencia, que es la investigación de la materia a escala nanométrica. La nanociencia surge como respuesta a la necesidad de entender el cambio de las propiedades físicas y químicas de los materiales al disminuir su campo de estudio a unos cuantos nanómetros. Los científicos se percataron de que existían propiedades ópticas, mecánicas, eléctricas, entre otras, cuyo comportamiento no correspondía al esperado en análisis de fragmentos nanométricos de materia. Con el avance de las investigaciones, el asombro entre los científicos del área fue general: las propiedades, además de inesperadas, eran idóneas para lograr avances tecnológicos que hasta el momento sólo se habían imaginado. Surge entonces la nanotecnología como el esfuerzo de llevar a realidades tangibles y útiles los avances de la nanociencia.

Los progresos en esta área comenzaron a captar el interés de más y más gente. Además de los físicos y químicos, los ingenieros se integraron para aprovechar las propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas, etc., que presentaban los materiales.

Surgió entonces la necesidad de contar con microscopios de resoluciones más potentes, y de equipo de cómputo y software especializado para las tareas de caracterización y simulación. La investigación a escala nanométrica pasó del interés de “*ver qué pasa*”, a un enfoque de “*qué hacer para que pase*”. La nanotecnología dejó de ser un campo más de investigación y comenzó a verse como se ve actualmente: como una posibilidad real de desarrollo tecnológico que, al implantarse, revolucionará la vida del ser humano en muchos aspectos.

II.2 Divisiones de la nanotecnología

Con el paso del tiempo y los avances logrados, se generó una nueva necesidad, la de diferenciar los campos de estudio de la nanotecnología. Así, son dos las áreas delimitadas: nanotecnología seca y nanotecnología húmeda.

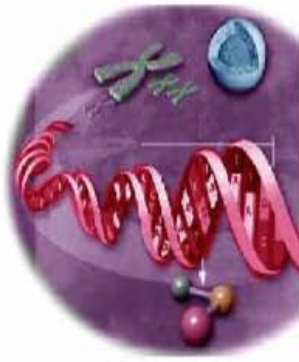


Figura II.3
La nanotecnología húmeda busca imitar las funciones de los sistemas biológicos como el material genético, o las enzimas, creando máquinas biológicas cuyo comportamiento pueda ser controlado

II.2.1 Nanotecnología húmeda

La nanotecnología húmeda, también llamada nanobiotecnología, se basa en el uso de estructuras biológicas, tales como el material genético, las enzimas, las hormonas y otros organismos celulares, cuyo comportamiento y evolución es gobernado por la interacción de

estructuras nanométricas. Estos organismos bien pueden considerarse “nanomáquinas”, y están formados por átomos, cada uno de los cuales tiene una ubicación exacta, definida con precisión por un diseño ingenieril de la naturaleza.

Para entender el sentido en el que la nanotecnología se interesa en los organismos biológicos se puede analizar la función de las enzimas. Todo organismo viviente cambia constantemente; a través de estos cambios, el organismo nace, crece, se reproduce y muere. Cada uno de estos estados conlleva reacciones químicas. Las enzimas son proteínas altamente especializadas que tienen como función la catálisis o regulación de la velocidad de las reacciones químicas que se llevan a cabo en los seres vivos. La idea es imitar, mediante dispositivos creados por el hombre, la función de los organismos vivos. Como el lector podrá adivinar, la complejidad de esta tarea es enorme. Hay quienes incluso dicen que, hablando de nanotecnología húmeda, “se juega a ser dioses”. Aún más, han surgido organizaciones que se pronuncian en contra de la nanotecnología, y entre sus principales argumentos están las implicaciones éticas del desarrollo de la nanotecnología húmeda. Con todo, creemos que pocos dejan de maravillarse ante la posibilidad de crear vida.

II.2.2 Nanotecnología seca

El campo de acción de la nanotecnología seca es la materia inorgánica. Esta área de la nanotecnología, de manera similar a lo que sucede con la nanotecnología húmeda, cuenta con casi tantos entusiastas como detractores. Se considera que la nanotecnología seca es la más factible de desarrollar, y que será ésta, con la creación de nuevos materiales y dispositivos, la que haga posible el desarrollo de la nanotecnología húmeda. Mientras esta última aún lucha por ser tomada en cuenta como un área seria de desarrollo tecnológico, la nanotecnología seca cuenta ya con productos en el mercado que demuestran su factibilidad (de los cuales daremos detalles más adelante).

De los descubrimientos que se han realizado con la nanotecnología seca, los fullerenos y los nanotubos de carbono son estructuras cuyo comportamiento promete mucho en la búsqueda de nuevos materiales.

II.3 Nanoestructuras de carbono

El carbono es uno de los elementos químicos más versátiles y constituye el fundamento de la mayoría de moléculas que son importantes para la vida, como el ADN y las proteínas. Esta característica del carbono se debe a su capacidad de formar enlaces estables consigo mismo, en lugar de elegir a otros para hacerlo, como lo hacen casi todos los demás elementos. Es por esta razón que el carbono se conoce en colores y formas distintos. Como grafito, es negro y sus capas de átomos se deslizan fácilmente una sobre otra, lo que le da sus propiedades como lubricante sólido. Como diamante, es transparente y su dureza no es superada por ningún material. Las características de cada uno de estos estados son distintas y están dadas por el arreglo de los átomos de carbono. En el grafito los átomos de carbono forman capas en las que cada átomo está rodeado por otros tres átomos idénticos a él, formando una estructura hexagonal. En el diamante cada átomo de carbono está enlazado a cuatro vecinos iguales dispuestos en forma de tetrahedro. El enlace en tres dimensiones del diamante da lugar a una estructura más robusta y de mayor dureza que en el caso del grafito, cuyo enlace se limita a dos dimensiones. Hasta hace unas décadas se pensaba que sólo existían dos formas puras de carbono en la naturaleza: grafito y diamante. En las últimas dos décadas, se descubrieron nuevos estados del carbono: los nanotubos y los fullerenos, que al igual que el grafito y el diamante, tienen propiedades distintas debido a la forma en que están estructurados.

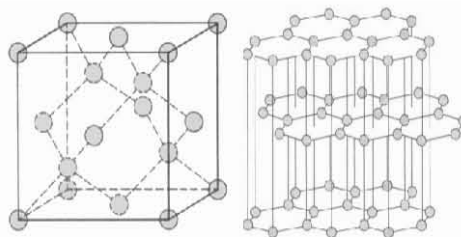


Figura II.4. Arreglo de los átomos de carbono en el diamante (izquierda) y en el grafito (derecha). Cada estructura provee de propiedades distintas.

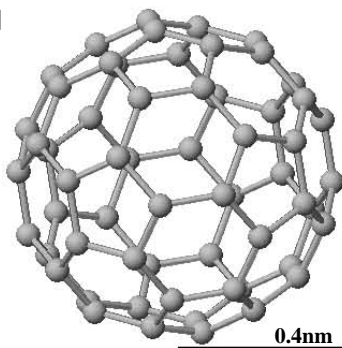


Figura II.5. Molécula de C_{60} constituida por 60 átomos de carbono ubicados en los vértices de 20 hexágonos y 12 pentágonos, exactamente igual a la pelota de fútbol. Fuente: Centro de ciencias SEED. Schlumberger.

II.3.1 Fullerenos

Los fullerenos fueron descubiertos por Harold Kroto, Richard Smalley y Robert Curl en 1985, hallazgo por el que les fue otorgado el premio nobel de Química en 1996. Estas estructuras son pequeños “balones” de algunos pocos nanómetros de tamaño, constituidos por átomos de carbono, ubicados de tal manera que forman arreglos hexagonales y pentagonales, que unidos semejan a la estructura de los domos geodésicos diseñados por Buckminsterfuller. El más conocido de los fullerenos y el primero en hallarse fue el carbono 60 (C_{60}), constituido por 60 átomos de carbón formando una estructura similar a la de un balón de fútbol. Actualmente se conoce una serie de estas formas de carbono, las cuales se nombran dependiendo del número de átomos, es decir se llama

carbono 70 al que esta compuesto de 70 átomos, carbono 80 al que esta formado por 80 y se ha predicho que se pueden formar desde carbono 20 hasta grandes moléculas como carbono 900.

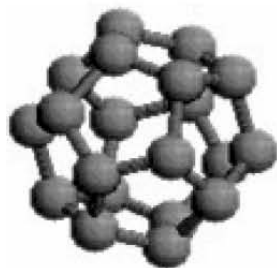


Figura II.6. El fullereno más pequeño (C_{20}). Fuente: Centro de ciencias SEED. Schlumberger.

El descubrimiento de estas estructuras fue casi accidental¹. Dos ramas de la química que surgieron en los años setenta (la Química Astrofísica y la Ciencia de Agrupaciones o *Cluster Science*), abrieron el camino al descubrimiento de los fullerenos, con ayuda de la radioastronomía. Las señales de radio generadas por vastas nubes de millones de toneladas de gas en el espacio interestelar podían utilizarse para detectar moléculas. Los investigadores también encontraron moléculas extrañas que no habían sido sintetizadas en el laboratorio. Mientras tanto, nuevos métodos para generar y detectar agregados de átomos en

el laboratorio, que se mantenían unidos de formas novedosas, condujeron al hallazgo de una nueva clase de moléculas, llamadas agrupaciones (clusters). Típicamente, las agrupaciones se encuentran en una zona de transición entra las moléculas y los sólidos, y sus propiedades reflejan este hecho de manera muy evidente. Las cadenas (enlaces lineales) y otros agregados de átomos de carbono pueden considerarse como agrupaciones.

En Sussex, Inglaterra, Harold Kroto y Dave Walton estaban sintetizando largas cadenas de carbono, terminadas con hidrógeno en un extremo y con nitrógeno en el otro. Encontraron que los patrones espectroscópicos de estas sustancias eran idénticos a ciertos picos de absorción/emisión observados en las nubes de gas de

¹ www.slb.com “El descubrimiento de los fullerenos”. Centro de ciencias SEED. Schlumberger.

nuestra galaxia, la Vía Láctea. También detectaron señales de estas nubes que daban indicios de cadenas de carbono aún más largas que las que ellos podían sintetizar en la tierra. La concentración de estas largas moléculas era mucho más grande de lo que cualquier persona pudiera esperar. Los científicos se preguntaban de dónde provendrían.

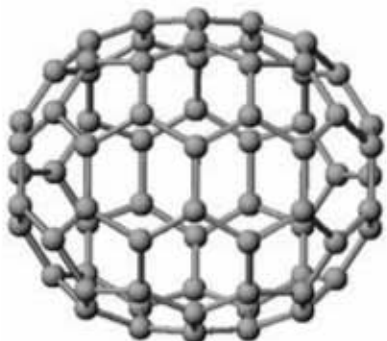


Figura II.7. Apariencia de los fulerenos (C70). Fuente: Centro de ciencias SEED. Schlumberger.

Una posible respuesta residía en las estrellas, que generan su energía fusionando elementos ligeros (como el hidrógeno) para constituir otros más pesados. Las estrellas pueden ser pequeñas, denominadas "enanas blancas," o grandes, denominadas "gigantes rojas". Nuestro sol se encuentra a mitad de camino entre los dos extremos. La fuente de estas moléculas grandes de carbono se encontró por fin en las estrellas de carbono gigantes

rojas, las cuales han agotado el hidrógeno que era su combustible primario y ahora están "quemando" átomos de helio. Este carbono entonces es arrojado hacia el espacio interestelar. El viejo paradigma de que el carbono puro se encontraba en la naturaleza sólo como grafito o diamante fue entonces descartado.

Finalmente, en 1985, Kroto persuadió a un colega estadounidense, Richard Smalley, para que colaborara en un proyecto para simular las condiciones de las estrellas gigantes rojas en el laboratorio. En la máquina de Smalley un poderoso rayo láser evaporaba un pequeño fragmento de granito que se convertía en una nube caliente de partículas que se enfriaban con un chorro de gas helio, permitiendo que los átomos se condensaran en racimos o agrupaciones. La mezcla se analizó entonces con un espectrómetro de masa, un equipo muy sensible, el cual indicó un gran número de moléculas con una masa de 720. Los únicos elementos presentes eran helio y carbono; ya que el helio es un gas totalmente inerte, la conclusión a la que llegaron fue que las grandes moléculas debían estar compuestas por 60 átomos de carbono, cada uno de los cuales tiene una masa de 12. El pico de 720 del gráfico producido por el espectrómetro de masa era fuerte, mucho más fuerte que los picos vecinos, lo que significa que el C_{60} puede formarse y sobrevivir en el ambiente de alta energía de un espectrómetro de masa, en el cual muchas otras moléculas se fragmentan de una forma característica, lo que permite su identificación. Esto sólo podía significar que una colección de 60 átomos de carbono de alguna manera era extraordinariamente estable.

Los investigadores se enfrentaron a un dilema: el espectrómetro de masas mostraba una clara evidencia de la existencia del C_{60} , pero las cantidades detectadas eran, por mucho, demasiado pequeñas para permitir un análisis estructural. Después de varios días de análisis llegaron a una arriesgada hipótesis: los 60 átomos de carbono se organizaban en una estructura similar a la de una pelota de fútbol. Debido a su simetría estructural, que aparecía con frecuencia en

algunas de las construcciones del arquitecto Buckminster Fuller, los científicos le dieron a la molécula el nombre de buckminsterfullereno, que suele acortarse a fullereno o a buckybola. El equipo publicó su descubrimiento en la prestigiosa revista científica Nature. La estructura simétrica de la molécula era una hipótesis y era muy importante obtener pruebas directas de la geometría con el objeto de afirmar esto como una verdad incuestionable.

II.3.2 Nanotubos

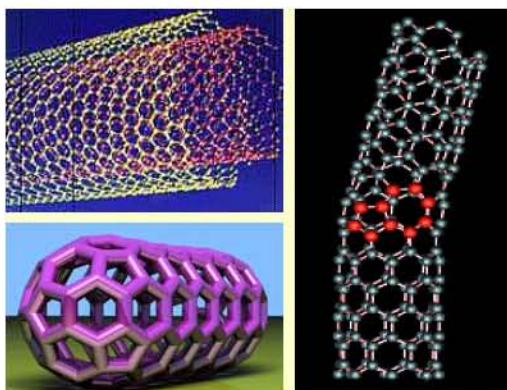


Figura II.8. Apariencia de los nanotubos.

En 1991, el físico Sumio Iijima, en el Laboratorio de Investigaciones Fundamentales de NEC en Tsukuba, Japón, observó, usando un microscopio electrónico, la existencia de moléculas tubulares en el hollín formado a partir de una descarga de arco usando grafito. Investigaciones posteriores determinaron que estos tubos eran macromoléculas formadas por átomos de carbono puro, de alrededor de un micrómetro de largo y de entre 1 y 100 nanómetros de diámetro. Estas estructuras

de carbono tienen un arreglo similar al de los fullerenos, dado que los átomos en el eje del tubo forman una malla de hexágonos y son cerrados por arreglos pentagonales formando pequeñas cápsulas alargadas. Los nanotubos pueden tener una, dos o varias capas, por lo que son conocidos como nanotubos de una pared o de multipared, según cual sea el caso.

La ciencia reconoce tres maneras de fabricar hollín que contenga una proporción notable de estas nanoestructuras. Hasta ahora, sin embargo, los tres métodos tienen algunas limitaciones importantes: por ejemplo, no hay estandarización en las longitudes, ni control de las torsiones.

En 1992 Thomas Ebbeser y Pullickel M. Ajayan, del Laboratorio de Investigación Fundamental de NEC, publicaron el primer método de fabricación de cantidades macroscópicas de nanotubos. Consiste en conectar dos barras de grafito a una fuente de alimentación, separarlas unos milímetros y accionar un interruptor. Al saltar una chispa de 100 Amperes de intensidad entre las barras, el carbono se evapora en un plasma caliente: parte del mismo se vuelve a condensar en forma de nanotubos. El rendimiento de este proceso es sorprendente; una producción de hasta un 30 por ciento en peso. Su principal ventaja es que las altas temperaturas y los catalizadores metálicos añadidos a las barras pueden producir nanotubos de pared única y múltiple con pocos defectos estructurales. Sus limitaciones: los tubos tienden a ser cortos (50 micras o menos) y a depositarse en formas y tamaños aleatorios.

Por su parte, Morinubo Endo, de la Universidad de Shinshu en Nagano, Japón, introdujo el método de la deposición química en fase vapor (CVD). Se coloca un

sustrato en un horno, se calienta a 600 grados centígrados y lentamente se añade metano. El gas libera átomos de carbono, que se recombinan en forma de nanotubos. El rendimiento varía desde 20 hasta casi 100%. La técnica de CVD es la más sencilla de los tres métodos para su aplicación a escala industrial, aunque los nanotubos fabricados así suelen ser de pared múltiple y tienen defectos, lo que provoca que los tubos tengan sólo una décima de su resistencia a la tracción con respecto a los fabricados por la descarga de arco.

Existe otro método: en un dispositivo se tienen barras de grafito que son atacadas con pulsos de láser para generar el gas caliente de carbono a partir del que se forman los nanotubos. Es necesario contar con catalizadores, pero el rendimiento oscila al 70% y se producen nanotubos de pared única con una gama de diámetros que se pueden controlar variando la temperatura de reacción. Una clara desventaja es que la tecnología láser resulta muy costosa.

Un nanotubo se forma enrollando una lámina de grafito alrededor de un eje y uniendo los bordes por medio de ligaduras químicas entre los átomos de carbono. La manera en que se enrolle la lámina le da al nanotubo propiedades muy diferentes. Un nanotubo se puede caracterizar conociendo su diámetro y su helicidad (que viene dada por el ángulo en el que se enrolló).

Los procesos en laboratorio pueden ser costosos o complicados, pero parecían la única opción, pues en general se pensaba que para encontrar nanotubos y fullerenos en la naturaleza era indispensable contar con condiciones de temperatura extrema. Sin embargo, un experimento realizado por investigadores del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la Universidad Nacional Autónoma de México (CFATA), encabezado por su director, el doctor Víctor Manuel Castaño Meneses, y con la participación de dos estudiantes de doctorado, Carlos Velasco y Ana Laura Martínez, demostró la posibilidad de que estas estructuras se formen de manera natural en fluidos como el petróleo crudo mexicano. Ya con anterioridad se habían reportado algunos métodos artificiales en los que se utilizaron con éxito temperaturas menores para desarrollar nanotubos de carbono, lo que había demostrado que las diferentes fases del carbono pueden obtenerse bajo condiciones menos extremas.

La investigación de los científicos de CFATA fue publicada en mayo de 2003 en el Volumen 373 de Chemical Physics Letters, y presenta un nuevo tipo de nanotubos naturales de carbono encapsulado encontrados en una mezcla de carbón con petróleo. Este hallazgo demuestra que todas las formas alotrópicas de carbono conocidas hasta la fecha pueden producirse en la naturaleza, donde la presión, partículas catalizadoras, esfuerzo de corte y otros parámetros (y no sólo las elevadas temperaturas) parecen tener un importante papel en la producción de nanotubos².

² “El fantástico mundo de los nanotubos”. Revista Investigación y Desarrollo. Julio de 2003.

El artículo señala que “el procesamiento natural del carbono puede presentar diferentes condiciones de temperatura; un ejemplo claro es la transformación de turba (combustible fósil procedente de la acumulación de residuos vegetales en pantanos) en carbón, debido a un aumento de presión y con temperaturas relativamente bajas”. De igual forma, el especialista indica que un estudio reciente describe una nueva técnica hidrotermal capaz de producir nanotubos de carbono bajo condiciones comparables a las de un entorno geológico, lo que llevó a algunos autores a sugerir la posibilidad de encontrarlos mediante algunos procesos naturales. De hecho, hace algunos años se hallaron partículas con microestructuras en hollín de diesel y, en fecha más reciente, se informó la presencia de fulerenos y partículas de carbono similares a éstos en sedimentos que corresponden a un periodo geológico limítrofe entre el Pérmico y el Triásico, así como en hollín petrolífero.

La metodología empleada por el equipo del doctor Castaño Meneses para su extracción consistió en tomar y centrifugar una muestra de un pozo petrolero del sureste mexicano, identificado por Petróleos Mexicanos como P1 y que pertenece al estrato geológico conocido como Jurásico Superior Kimmeridgian. El espécimen de crudo se extrajo de una profundidad de cinco mil 600 metros y tiene una calificación de grado 32 en la escala del Instituto Americano del Petróleo, con una ligera proporción de asfaltenos y sedimentos. Una vez separado del líquido (por decantación), el precipitado resultante que tenía una apariencia similar a la del barro, se mezcló con etanol y se colocó en rejillas de cobre para analizarse con varios instrumentos electrónicos.

En su análisis, los investigadores mexicanos encontraron evidencias de que las variaciones en el grado de conversión del carbono en grafito --que dependen de variables como presión o catálisis de metales, además de la temperatura-- influyen en la estructura cristalina de los materiales naturales. Y ya que esta transformación también se presenta en la naturaleza, particularmente en la corteza terrestre, todas las formas alotrópicas de carbono conocidas hasta ahora podrían producirse igualmente mediante procesos naturales.

II.3.3 Propiedades

Lo que realmente ha impulsado el gran desarrollo e investigación alrededor de los nanotubos y fulerenos no es sólo su tamaño y forma novedosa, sino las propiedades que estos materiales presentan, debidas a su arreglo y dimensión. Los fulerenos por ejemplo, son moléculas muy estables químicamente y tienen una resistencia a la temperatura muy alta antes de desintegrar su arreglo, además de presentar características muy interesantes para ser usados en el desarrollo de una nueva era de catalizadores, sensores, desactivadores de virus, diodos de luz, transistores y otros dispositivos electrónicos. Los nanotubos, además de constituirse como una promesa en los campos antes mencionados, son muy fuertes; uno de estos pequeños tubos tiene una resistencia mecánica al menos 100 veces mayor que las fibras de acero y poseen características conductivas, dependiendo de cómo están acomodados los átomos que forman el arreglo

hexagonal con respecto al eje del tubo. De esta manera pueden presentar un comportamiento semiconductor o metálico.

Debido a estas novedosas características, los nanotubos pueden ser empleados en el desarrollo de una nueva era de materiales ultra resistentes y ligeros, para formar plásticos conductores y diodos orgánicos de luz si se incorporan en polímeros. Además, por su forma, tamaño, propiedades mecánicas y electrónicas, han sido empleados en dispositivos para manipular los átomos con estos pequeños tubos, lo cual será útil para desarrollar nuevos materiales para almacenar datos y obtener mejores imágenes en algunos de los microscopios utilizados para observar o manipular la materia a la nanoescala.

En lo que respecta a las propiedades eléctricas, los nanotubos pueden ser metálicos o semiconductores según su helicidad (ver la figura II.9.). Esta importante propiedad permitiría fabricar, por ejemplo, un nanodiodo “rectificador”, uniendo una parte metálica con una semiconductor. Aún más, y debido al carácter semiconductor, hasta se puede pensar en transistores de efecto de campo (FET, por sus siglas en inglés) para ser usados como nanocomponentes en circuitos moleculares.

Otra propiedad muy importante tiene su explicación en la mecánica cuántica; como el diámetro de estos nanotubos es muy pequeño, los niveles de energía son discretos, como en el átomo, y el transporte eléctrico (o corriente) está cuantizado. Por esto, los nanotubos de carbono pueden ser usados como “alambres cuánticos” y pueden transportar densidades muy altas de corriente, varios órdenes de magnitud mayor que la transportada por los conocidos alambres de cobre.

PROPIEDADES DE LOS NANOTUBOS		
Propiedad	Nanotubos	Comparación
Tamaño	0.6 a 1.8 nm de diámetro	La litografía por haz electrónico puede crear líneas de 50 nm de ancho por 7 nm de espesor.
Densidad	1.33 a 1.44 g/cm ³	Aluminio: 2.7 g/cm ³
Resistencia a la tracción	45 x 10 ⁹ Pa	Aleaciones de acero de alta resistencia: < 2 x 10 ⁹ Pa
Elasticidad	Se pueden doblar hasta grandes ángulos y recuperarse sin sufrir daño.	Los metales y las fibras de carbono se fracturan ante esfuerzos similares.
Conductividad eléctrica	Estimada en 10 ⁹ A/cm ²	El cobre funde a 10 ⁶ A/cm ²
Transmisión de calor	6000 W/mK	Diamante puro: 3320 W/mK
Estabilidad térmica	Estables hasta 2800°C en vacío, 750°C en el aire.	Los filamentos metálicos en microchips funden entre 600 y 1000 °C

Tabla II.1. Propiedades de los nanotubos. Fuente: Jorge Eliézer Peláez. Publicaciones Ilustrados, 2003.

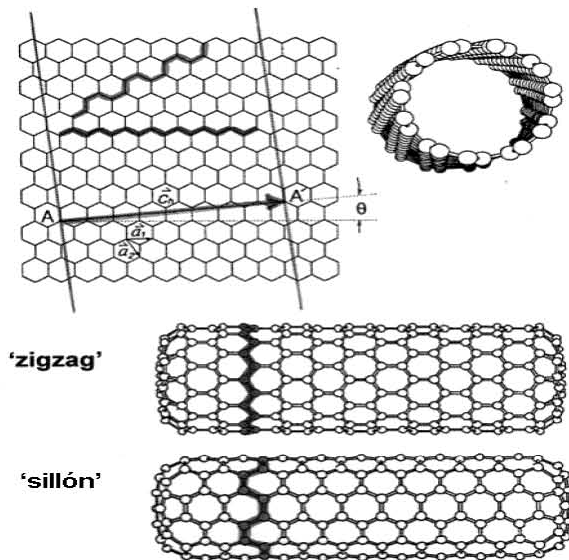


Figura II.9. Las líneas roja y azul muestran en qué dirección se enrolló la lámina de grafito para obtener los diferentes nanotubos mostrados. Los átomos de carbono se encuentran en los vértices. Arriba a la derecha se muestra un corte transversal de un tubo helicoidal. El nanotubo 'zigzag' puede ser metálico o semiconductor, según su diámetro. En cambio el tipo 'sillón' es siempre metálico.

Además de las peculiares propiedades de transporte eléctrico, los nanotubos presentan características mecánicas únicas: son los materiales más resistentes y flexibles que se conozca. Y finalmente, en cuanto a sus propiedades químicas, son inertes y se pueden dopar con diferentes impurezas e inclusive rellenar con cierto tipo de átomos, pudiéndose usar como "nanocápsulas".

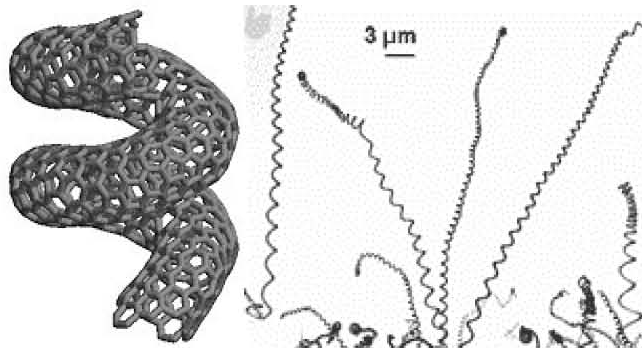


Figura II.10. Variantes de nanotubos: nanoespirales. Fuente: Humberto Terrones. Nanotecnología: promesas y amenazas. Colegio de México. noviembre de 2005.

También es posible introducir "defectos" en el tubo recto, que está formado por átomos de carbono que se enlazan exclusivamente en patrones hexagonales mediante la reducción o adición de un enlace de carbono. Los pentágonos y heptágonos resultantes pueden introducir retorcimientos, curvaturas y otras deformaciones parecidas. Humberto y Mauricio Terrones, ambos investigadores del IPICYT (Instituto Potosino de Investigación, Ciencia y Tecnología del CONACYT), han logrado introducir estas deformaciones en sus investigaciones, logrando con ello un avance hacia un mejor aprovechamiento de estas nanoestructuras.

II.4 Herramientas de la nanotecnología

Los logros alcanzados en materia de nanociencia y nanotecnología se deben, en buena parte, al descubrimiento y posteriores desarrollos del Microscopio de Fuerza Atómica (Atomic Force Microscope) y del Microscopio de Efecto Túnel (Scanning Tunneling Microscope). Ambos se han constituido como las herramientas indispensables para indagar las propiedades de sistemas de tamaño nanométrico. El control preciso de estas técnicas permite la investigación del estado químico, mecánico y eléctrico de estructuras nanométricas. Las capacidades de estos microscopios son aprovechadas para desarrollar nuevas técnicas de visualización y modificación de superficies a la escala nanométrica.

II.4.1 Microscopio de Efecto Túnel (Scanning Tunneling Microscope)

En 1986 el premio Nóbel de Física se otorgó a Gerd Karl Binnig y Heinrich Rohrer, del Laboratorio de Investigaciones de IBM en Zurich, por su invención, en 1981, del Microscopio de Efecto Túnel (STM, por sus siglas en inglés). Rohrer ha dicho que en realidad el desarrollo del STM se dio de manera indirecta: *“nosotros no buscábamos el diseño de este invento; fue algo que surgió inesperadamente en el transcurso de una investigación a nivel nanométrico”*³.

El STM basa su funcionamiento en la física cuántica. El efecto túnel surge cuando una partícula subatómica, como los electrones, pasa a través de barreras aparentemente impenetrables, como podría ser un mayor nivel energético. Este fenómeno se debe a la dualidad onda-corpúsculo de la materia y fue una de las propiedades cuánticas que permitieron el desarrollo de este microscopio.

El STM es un dispositivo en el cual una punta metálica de dimensiones muy reducidas (tungsteno afilado por métodos electroquímicos que llega a presentar un solo átomo en la punta) se coloca a una distancia del orden de 10 Armstrong ($1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-10} \text{ m}$) de la superficie de una muestra. Para lograr esto la punta se monta en un material piezoeléctrico, el cual, debido a una pequeña variación del campo eléctrico, se expande o se contrae en décimas de Å . Al aplicar una diferencia de potencial en el piezoeléctrico, aparece, por efecto túnel, una corriente eléctrica entre la punta y la muestra, denominada corriente túnel. La punta “barre” la superficie en dirección X y Y, mientras el desplazamiento en Z se enfoca a mantener constante la corriente, estableciendo de este modo la topografía de la superficie. (Es decir, si la punta se encuentra un “átomo”, la corriente variaría, entonces la punta tiene que subir o bajar, para mantener constante la corriente, por lo tanto, detecta los “picos” o “valles” de la superficie). El barrido, el posicionamiento, el control de la corriente y la construcción de la imagen se hacen por computadora.

³ “La tecnología desarrollada a nivel atómico y molecular permitirá emular el funcionamiento del cerebro”, Heinrich Rohrer, octubre de 1997, Universidad de Cantabria.

Una de las desventajas del STM es que su uso queda restringido a superficies metálicas o semiconductoras, ya que esta característica es necesaria para que los electrones puedan atravesar la barrera por efecto túnel.

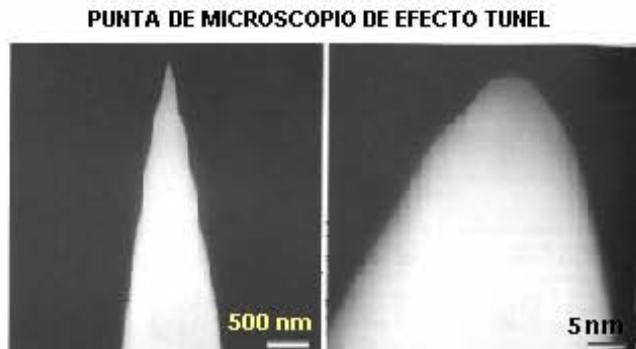


Figura II.11. Fuente: José Ignacio Pascual. Instituto de Investigaciones de Materiales. Universidad Autónoma de Madrid. 2003

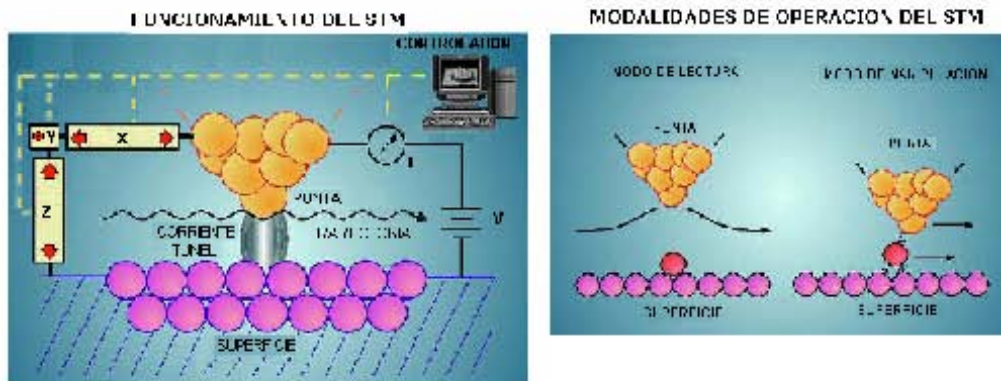


Figura I.12. Fuente: José Pascual, Instituto de Materiales, Universidad Autónoma de Madrid, 2003

En el modo de manipulación, los científicos han logrado construir estructuras tales como los llamados “corrales cuánticos”. Se pueden hacer en, por ejemplo, una superficie de cobre (Cu), cuyos electrones se confinan en estructuras cerradas (corrales) limitadas por barreras compuestas por átomos de hierro (Fe). Estas barreras son ensambladas mediante el posicionamiento individual de átomos de Fe, usando la punta de STM. En la figura se muestra un corral circular realizado mediante esta técnica. Su diámetro es de 71.3 \AA (7.13 nm) y fue construido con 48 átomos de Fe.

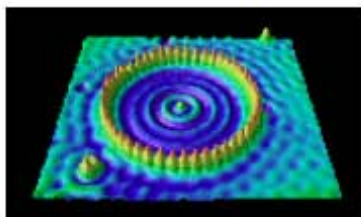


Figura II.13. Corral cuántico. Fuente: IBM Almaden Research Center.

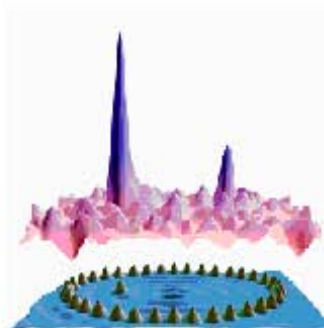


Figura II.14. Corral cuántico de geometría y propiedades elípticas. Fuente: IBM Almaden Research Center.

Las posibles aplicaciones de los corrales cuánticos dependerán de su composición química y de su geometría. En la figura II.14 se muestra la imagen realizada con STM de un corral cuántico, de forma elíptica, compuesto por 80 átomos de hierro y cobalto sobre una superficie de cobre de unos 10 nm de diámetro mayor. Los picos de la base corresponden a los átomos de cobalto que forman el corral, así como al átomo colocado en el foco izquierdo de la elipse⁴.

Una elipse tiene dos focos y cualquier perturbación que se realice en uno de ellos será focalizada en el segundo. Investigadores de IBM colocaron una impureza de cobalto en un foco y pudieron ver una “imagen” de esta impureza en el otro foco, como si la impureza estuviera también allí. A este fenómeno se le llamó “espejismo” o “imagen” cuántica. Una posible aplicación es la de transmitir información a distancia casi instantáneamente y sin la necesidad de alambres intermediarios, ya que si se perturba un foco, esto se transmite inmediatamente al otro. Esta propiedad podría ser de utilidad para transmitir información en computadoras muy pequeñas, permitiendo la posibilidad de realizar circuitos hasta de 100 átomos.

II.4.2 Microscopio de Fuerza Atómica (Atomic Force Microscope)

El Microscopio de Fuerza Atómica (AFM, por sus siglas en inglés) fue desarrollado por Binnig, basado en su invento anterior del STM. Ambos microscopios son similares en funcionamiento, pero el AFM tiene la ventaja de trabajar con materiales no conductores de la electricidad. Puede trabajar bajo vacío y en medio líquido (para muestras biológicas). Es un instrumento mecánico-óptico que detecta fuerzas a nivel atómico. En este microscopio la magnitud que se mantiene constante (la que se usa como “altímetro”) no es la corriente túnel, sino la fuerza de atracción y repulsión entre la punta y la muestra. A distancias de unos pocos Ångstrom, las fuerzas entre ambas (aproximadamente de 1×10^{-10} N) da origen a dos situaciones: para distancias más pequeñas que una distancia crítica, las repulsiones eléctricas debidas al principio de repulsión de Pauli (que indica que no puede haber dos electrones iguales en un mismo nivel de energía) actúan de manera importante, mientras que para distancias superiores las fuerzas atractivas de Van der Waals son las que dominan el sistema. Para mantener la fuerza entre punta y muestra constante, se monta la punta en el extremo de una micro-palanca flexible (cantilever), cuya deflexión es proporcional a la interacción entre punta y muestra. Esta deflexión, que se mide mediante la reflexión de un láser en el extremo del cantilever, es la que se analiza para trazar la topografía de la superficie.

⁴ Alejandro Fainstein y Karen Hallberg, Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina, febrero 2005



Figura II.15. Funcionamiento del AFM.
Fuente: Shimadzu Instruments, 2005.

El cantilever se compone, por lo general, de uno o varios haces de fibras de nitruro de silicio o de silicio metálico cuya longitud varía entre 100 y 500 μm , con un espesor entre 0.5 y 5 μm . El AFM puede trabajar en tres modos: "contact mode", "non-contact mode" y "tapping mode". En el "contact mode" la punta está en contacto con la muestra. En el "non-contact mode" la punta del cantilever se mantiene a una distancia pequeña de la muestra, y la topografía de la superficie se reconstruye a partir de la medición de las fuerzas actuantes entre los átomos de

la punta y los de la superficie. En este modo, si bien se evitan daños a la muestra debido a la adherencia entre la punta y la superficie, se tiene una resolución menor respecto a los otros dos modos. Finalmente, en el "tapping mode", el cantilever se mantiene en oscilación, en su frecuencia de resonancia, y la punta está en contacto en forma intermitente con la superficie, lo que permite tener una información topográfica de alta resolución⁵.



Figura II.16. Fuente: "Microscopio de Fuerza Atómica" Shimadzu Instruments, 2005

A estos microscopios se les conoce también por el nombre de Microscopios de Sonda o Campo Cercano (Scannig Probe Microscopy, o SPM). Su elevado poder resolutivo hace que a veces sea difícil comprender las imágenes obtenidas por lo que es preciso realizar un análisis estadístico para comprobar cuales son las características representativas y cuales las circunstanciales. Por eso es importante entender cual es el proceso por el que se forma la imagen. En el caso del STM la imagen representa en realidad la densidad de estados electrónicos de la muestra a la altura de la punta. Por tanto, en una imagen con resolución atómica de STM, las salientes que vemos no siempre corresponden a los átomos, sino a la densidad de carga en torno a ellos. Esto hace que su interpretación no sea siempre evidente. Por otra parte, las imágenes de AFM, dependen mucho menos de la naturaleza electrónica del material, y por tanto las imágenes que genera son mucho más cercanas a la topografía real del material.

⁵ "Microscopio de Fuerza Atómica". Shimadzu Instruments, 2005.

El éxito de estas técnicas se basa en mantener la distancia punta-muestra constante, con una precisión de ángstroms. Pequeñas vibraciones mecánicas o ruidos electrónicos, incluso acústicos, pueden originar inestabilidad en la corriente túnel o en la curva de fuerzas, que se manifiestan en una distorsión de la imagen. Por ejemplo, la histéresis de los materiales piezoeléctricos en los que va sujeta la punta, hace que estos no siempre presenten un comportamiento lineal; o la diferencia térmica entre punta y muestra, son causas frecuentes de distorsión de las imágenes de SPM.

Aunque las técnicas de STM y AFM tienen una base común, e históricamente comenzaron abordando los mismos problemas, con el tiempo cada una de ellas se ha especializado: el AFM, mucho más versátil que el STM, se emplea sobre todo para estudiar superficies tanto en aire como en líquidos. Debido a su resolución máxima de 10 nm se emplea en estudios aplicados de materiales y capas delgadas. Por otra parte, el STM se emplea cada vez más para estudiar sistemas que presenten resolución atómica, por ejemplo, se usa ampliamente en el estudio de superficies 'controladas'; es decir, en entornos de ultra vacío y en celdas electroquímicas.

II. 5 Fabricación de nanoestructuras

En el conjunto de procesos de producción de materiales nanoestructurados se pueden distinguir dos enfoques, uno denominado en inglés "top down", en el cual las nanoestructuras se "esculpen" sobre un bloque de material, y otro llamado "bottom up", donde el material se obtiene a partir de la integración de nanopartículas. Las técnicas "top down" presentan analogías con las actuales técnicas litográficas de producción de microprocesadores electrónicos y su principal campo de aplicación es la electrónica y las tecnologías de la información y comunicaciones. Por su parte, las técnicas "bottom up" se basan en procesos similares a aquellos frecuentemente utilizados en la tecnología de materiales y pueden dar lugar a polvos, objetos compactos o capas delgadas, con propiedades distintas a las de los mismos materiales obtenidos por tecnologías convencionales.

II.5.1 Técnicas "top-down" (arriba-abajo)

Las técnicas "top-down" son semejantes a las técnicas litográficas de producción de microprocesadores electrónicos. Hay varias técnicas para la fabricación de microprocesadores, pero la mayoría siguen el método explicado a continuación.

La primera etapa en la producción de un microprocesador es la creación de un sustrato de silicio de enorme pureza, una rodaja de silicio en forma de una oblea redonda pulida hasta quedar lisa como un espejo. En la etapa de oxidación se coloca una capa eléctricamente no conductora. El tipo de dieléctrico más importante es el dióxido de silicio, que se "cultiva" exponiendo la oblea de silicio a

una atmósfera de oxígeno en un horno a unos 1000 °C. El oxígeno se combina con el silicio para formar una delgada capa de óxido de unos 75 Å de espesor.

Casi todas las capas que se depositan sobre la oblea deben corresponder con la forma y disposición de los transistores y otros elementos electrónicos; generalmente esto se logra mediante un proceso llamado fotolitografía, que equivale a convertir la oblea en un trozo de película fotográfica y proyectar sobre la misma una imagen del circuito deseado. Para ello se deposita sobre la superficie de la oblea una capa fotosensible cuyas propiedades cambian al ser expuesta a la luz. Los detalles del circuito pueden llegar a tener un tamaño de sólo 250 nm. Como la longitud de onda más corta de la luz visible es de unos 400 nm, es necesario emplear luz ultravioleta de baja longitud de onda para resolver los detalles más pequeños. Después de proyectar el circuito sobre la capa fotoresistente y revelar la misma, la oblea se graba eliminando la parte de la oblea no protegida por la imagen grabada del circuito mediante productos químicos (un proceso conocido como grabado húmedo) o exponiéndola a un gas corrosivo llamado plasma en una cámara de vacío especial.

En el siguiente paso del proceso, la implantación iónica, se introducen en el silicio impurezas como boro o fósforo para alterar su conductividad. Esto se logra ionizando los átomos de boro o de fósforo (quitándoles uno o dos electrones) e incrustándolos en la superficie de la oblea mediante un implantador iónico. En el último paso del proceso, las capas o películas de material empleadas para fabricar un microprocesador se depositan mediante el bombardeo atómico en un plasma, la evaporación en la que el material se funde y posteriormente se evapora para cubrir la oblea; o la deposición de vapor químico, en la que el material se condensa a partir de un gas a baja presión o a presión atmosférica.

Los detalles de un microprocesador son tan pequeños y precisos que una única mota de polvo puede destruir todo un grupo de circuitos. Las salas empleadas para la fabricación de microprocesadores se denominan salas limpias, porque el aire de las mismas se somete a un filtrado exhaustivo y está prácticamente libre de polvo. Las salas limpias más puras de la actualidad se denominan de clase 1. La cifra indica el número máximo de partículas mayores de 0.12 µm que puede haber en un pie cúbico de aire (0.028 metros cúbicos).

Para hacer la proyección de los circuitos sobre la oblea de silicio se utiliza por lo general radiación ultravioleta, lo que difícilmente permite alcanzar una resolución mejor que 100 nm. Esto representa un límite a la cantidad de componentes integrados en el microprocesador, y en consecuencia en sus prestaciones. Para lograr resoluciones mayores, hasta algunas decenas de nanómetro, se deben utilizar otro tipo de radiaciones (haces de electrones, radiación ultravioleta lejana, con longitudes de onda inferiores a las utilizadas hasta ahora en la industria electrónica, o rayos X). Las técnicas que permiten alcanzar resoluciones nanométricas, actualmente en etapa de desarrollo, permitirán integrar sobre un único chip un número de componentes más elevado del actual, y por lo tanto mejorar la relación costo/beneficio del procesamiento de datos.

II.5.2 Técnicas "bottom-up" (abajo-arriba)

Estas técnicas permiten obtener polvos de granulometría muy fina, que pueden ser compactados para obtener productos de variadas características y dimensiones, o dispersados en el interior de otro material; son procesos físicos y químicos mediante los cuales átomos y moléculas se combinan para dar lugar a un material con características y propiedades bien definidas.

Fase Líquida	Fase Vapor	Fase Sólida
<p>Sol-gel. Se parte de una solución de sal metálica, en la que se produce una suspensión coloidal de partículas de dimensiones nanométricas.</p> <p>Atomización mediante corriente de gas. Se impacta sobre un metal fundido un fluido, típicamente un gas inerte, a elevada velocidad, formando pequeñísimas gotas que, impactando entre sí, dan lugar a un polvo nanocristalino.</p> <p>Electrodeposición. Se descompone una solución mediante el paso de una corriente eléctrica, hasta dimensiones nanométricas.</p> <p>Procesos sonoquímicos. Se logra mediante la acción de ultrasonido sobre soluciones de compuestos, por lo general, organometálicos. La acción de los ultrasonidos genera cambios repentinos de presión y temperatura muy localizados, que descomponen la solución formando nanopartículas.</p>	<p>Procesos con aerosoles. Se utiliza un aerosol con gotas nanométricas distribuidas en un gas a baja presión. En una cámara de reacción se evapora o quema el aerosol, y las partículas dispersas experimentan reacciones químicas que dan origen a polvos de la composición deseada.</p> <p>PVD (Physical Vapor Deposition). La Deposición Física en Fase Vapor se lleva a cabo sin que intervengan reacciones químicas, llevando a fase vapor un elemento o un compuesto, para luego condensarlo sobre un sustrato. Con modificaciones apropiadas de los procesos se pueden obtener capas delgadas constituidas por nanoestructuras.</p> <p>CVD (Chemical Vapor Deposition). El compuesto químico debe ser llevado a fase vapor para que en una segunda etapa, en una atmósfera adecuada, se produzca su descomposición con reacciones fotoquímicas.</p> <p>Atomización Térmica. La técnica más utilizada es el Plasma Spray. Consiste en tratar la superficie con partículas de polvo transportadas por un gas previamente ionizado - el plasma - a alta temperatura y gran velocidad. Al impactar, las partículas se depositan como láminas líquidas que solidifican mezclándose con el material de la misma superficie.</p>	<p>Esta técnica consiste en la molienda de granos hasta llegar a dimensiones nanométricas del material. Se obtienen polvos ultrafinos que otorgan una mejora de las propiedades de los materiales a los que son añadidos.</p> <p>Se lleva a cabo en sofisticados molinos, continuando con tratamientos térmicos adecuados. Se han estudiado a fondo los problemas energéticos y de contaminación que se presentan en la producción por molienda de materiales ultrafinos, haciendo de este método una opción factible para la producción de materiales nanoestructurados.</p>
<p>Tabla II.2. Procesos "Bottom-Up" para la producción de materiales nanoestructurados. Fuente: Alberto Bonfiglioli. "Nanotecnologías y Materiales", Revista Cerámica y Cristal, Argentina, diciembre de 2002.</p>		

II.5.3 Técnicas en experimentación

En el campo de la nanotecnología se desarrollan nuevas técnicas de manera continua. La mayor parte de las técnicas mencionadas en los párrafos anteriores se han originado en técnicas micrométricas conocidas y aplicadas desde hace mucho tiempo; si bien sus aplicaciones a escala nanométrica están aún lejos de

una optimización operativa y económica, tales técnicas aparecen hoy como las más prometedoras a corto plazo.

Existen otras que revisten un interés potencial para su aplicación práctica, pero que no están todavía suficientemente desarrolladas como para hacer previsiones realistas sobre la factibilidad técnico-económica de su difusión en el campo de los materiales. En particular pueden mencionarse las *técnicas de auto ensamblaje*, que consisten en lograr que pequeños grupos de moléculas se unan "automáticamente" según estructuras predefinidas, como ocurre en los sistemas biológicos naturales (por ejemplo en la formación del ADN), utilizadas ya en la biotecnología. Se podrían producir de esta manera nuevos materiales de origen biológico. La manipulación de los átomos que se puede realizar por medio del microscopio AFM y el STM se logra formando estructuras, o bien rompiendo enlaces químicos y formando nuevos entre los átomos de la superficie. La manipulación atómica se encuentra aún en las primeras fases de experimentación a escala de laboratorio.

II.6 Aplicaciones

Si bien no hay dudas sobre el notable potencial económico del conjunto de las aplicaciones de la nanotecnología, algunas de las cuales están ya en el mercado, la mayor parte de las mismas se encuentran actualmente en fase de investigación. Así, buena parte de los ejemplos que se presentan son adelantos de las actividades de investigación y desarrollo.

II.6.1 Materiales

El campo de los materiales es intersectorial ya que los mismos se utilizan en todos los sectores de actividad incluyendo la fabricación de componentes y sistemas que, a su vez, interesan a variados sectores. La posibilidad de producir en escala nanométrica bloques de composición y dimensiones controladas de manera precisa, para ensamblarlos luego en estructuras de la forma y dimensiones deseadas, representa un cambio radical tanto en los procesos de producción de los materiales como en sus propiedades. Estos cambios hacen que el potencial de estos materiales sea muy elevado, ya sea que se presenten en forma de polvos, de piezas consolidadas, de capas delgadas, o bien bajo formas particulares como los nanotubos.



Figura II.17. Nanophase. Empresa dedicada a la producción de materiales nanotecnológicos. Entre sus productos están catalizadores, recubrimientos, termoplásticos, filtros solares y productos de cuidado personal.

a) Polvos y piezas consolidadas

Pueden emplearse en segmentos específicos de numerosos sectores que usan sólidos finamente divididos (industria metalúrgica, alimentaria, farmacéutica, sensores, catálisis, etc.). Los siguientes ejemplos están referidos a algunos sectores específicos de uso potencial:

Pigmentos, colorantes, barnices y tintas. El uso de nanopartículas llevaría a notables mejoras en la calidad en las industrias textiles, del vestido, impresiones gráficas y películas fotográficas.

Cosméticos. Los pigmentos a base de nanopulvos desarrollados por varias empresas presentan una elevada capacidad de absorción de rayos ultravioleta, lo que los hace ventajosos para las cremas protectoras solares. Teniendo en cuenta las dimensiones del mercado de la cosmética, el desarrollo del uso de nanopulvos en este sector aparece como particularmente interesante

Pastas abrasivas. Las pastas basadas en nanopartículas resultan ventajosas para pulir superficies que requieren un terminado superficial de altísima calidad (por ejemplo las obleas de silicio usadas en la industria electrónica, los discos duros para computadora, los espejos y otros componentes de sistemas ópticos). La creciente demanda de terminaciones de alta calidad y la esperada reducción de costos de los polvos nanométricos permiten prever una expansión de la utilización de los mismos en el sector de los abrasivos.

Farmacología. Los fármacos bajo formas de nanopulvos hacen posible la utilización de sustancias de baja solubilidad, aumentando así los productos químicos disponibles en el campo farmacológico.

Piezas monolíticas. Obtenidas mediante la compactación de nanopulvos tanto para materiales poliméricos como cerámicos y metales. Se pueden producir cuerpos con tal precisión en sus formas y dimensiones finales como para hacer innecesarias las operaciones de terminado. Ejemplos:

- *Objetos cerámicos.* La fabricación de una cerámica monolítica partiendo de polvos de granulometría convencional es, por lo general, un proceso largo y complicado, y el rendimiento es bajo. En el sinterizado a temperaturas elevadas se concentra, según el tipo de material, entre el 50 y el 90% de los costos de producción. El uso de nanopulvos permite obtener cerámicas que, conservando la resistencia mecánica a altas temperaturas, requieren menores tiempos de fabricación.
- *Metales de ultra dureza.* Utilizados desde hace mucho tiempo en las herramientas para el trabajado mecánico, están constituidos por partículas de carburo de tungsteno (WC) dispersas en una matriz de cobalto. Estos materiales compuestos se obtienen mediante un proceso que se inicia con la mezcla mecánica del polvo de carburo de tungsteno y el de cobalto metálico; luego la mezcla se prensa y se sinteriza. Utilizando nanopulvos en lugar de polvos de granulometría convencional se inhibe la formación de defectos, precursores de los fenómenos de fractura. Así, los materiales compuestos

obtenidos a partir de nanopartículas muestran elevadas características mecánicas y tribológicas (rozamiento entre los cuerpos sólidos, con el fin de producir mejor deslizamiento y menor desgaste de ellos).

- *Materiales biocompatibles.* Aptos para ser usados en prótesis. Pueden utilizarse como piezas formadas a partir de polvos o bien bajo la forma de capas delgadas que, recubriendo la superficie de una pieza, la hacen compatible con las condiciones del cuerpo donde debe trabajar.

b) Materiales nanoestructurados y nanocompuestos con base en carbono

Con los nanotubos se pueden obtener materiales extremadamente livianos y resistentes, adaptables a usos aeroespaciales o a implantes en el cuerpo humano. Dado que los nanotubos pueden ser también óptimos conductores de la electricidad, si son adicionados de manera adecuada a materiales normalmente no conductores, pueden modificar las propiedades de conducción eléctrica de estos últimos.

Las perspectivas de los nanocompuestos conductores son muy prometedoras en la industria automovilística. Los vehículos utilizan cada vez más materiales compuestos no metálicos. Si las partes no metálicas fueran conductoras de la electricidad en forma controlada, se podrían aplicar sobre las mismas procesos de pintura por electro spray, utilizados normalmente para las partes metálicas. Hay empresas que están desarrollando óxido de polifenil/poliamida cargado de nanotubos; con lo cual basta sólo un 2% de nanotubos para permitir la pintura electrostática y un mejor terminado superficial. O bien agregando pequeñas cantidades de nanotubos a los materiales usados para los neumáticos, éstos tendrían una sensibilidad eléctrica que podría utilizarse para controlar su estado. También se ha propuesto su uso en asfaltos para caminos, ya que servirían para detectar microfisuras críticas.

La realización de películas y recubrimientos de carbono nanoestructurado puede ser lograda mediante una técnica que consiste en la creación de un haz supersónico de agregados de átomos de carbono. Mediante descarga en arco eléctrico se crea un plasma de carbono que se mezcla con gas helio. Se expande la mezcla en el vacío para crear un haz de partículas de alta velocidad; se intercepta luego el haz con un sustancia sobre la cual las partículas se depositan formando una capa. Se trata de una técnica similar a la pintura en aerosol. Se obtienen así de manera eficiente y económica capas delgadas nanoestructuradas de fullerenos.

Otro campo en el cual los materiales nanoestructurados a base de carbono parecen ya listos para su empleo a escala industrial es en el almacenamiento de hidrógeno. El hidrógeno es considerado como una de las energías alternativas para el futuro, pero uno de los problemas que hay que solucionar es su almacenamiento en cantidades suficientes y bajo las condiciones de temperatura y presión adecuadas. Recientes investigaciones pretenden encontrar materiales que

podrían actuar como esponjas que absorben el hidrógeno y lo retienen hasta que vaya a ser utilizado. La revista Technology Review divulgó, en febrero de 2005, un artículo sobre avances importantes en los sistemas de almacenamiento de hidrogeno. Según lo publicado, un equipo de científicos de las universidades de Newcastle y Liverpool ha descubierto una nueva clase de materiales que podrían ser la solución a los problemas de almacenamiento de hidrógeno. Los materiales creados por el equipo se componen de largas cadenas de carbono, unidas por átomos metálicos. Al cristalizarse, estas moléculas forman cavidades que miden menos de un nanometro y que son conectadas por "ventanas" que son todavía más pequeñas que una molécula de hidrógeno. El hidrógeno se introduce en estas estructuras, entrando por las ventanas, ya que las cadenas de carbón son flexibles. Una vez llenas las cavidades, las cadenas pierden su flexibilidad, cerrando así las ventanas. Consecuentemente, se puede cargar el material de gas hidrógeno de alta presión, y cuando los niveles de presión se disminuyan, se forma una especie de cierre hermético a tamaño molecular.

c) Nanocompuestos poliméricos

Un nanocompuesto polimérico es un material caracterizado por la dispersión homogénea de partículas de dimensiones nanométricas en el interior de una matriz polimérica. Como relleno se usan por lo general nanopartículas de sílice y nanopartículas metálicas.

En los polímeros compuestos de tipo convencional (es decir, a los cuales se ha agregado un componente inorgánico no nanoestructurado, por ejemplo los plásticos reforzados con fibra de vidrio), hay una separación a nivel macroscópico entre las fases orgánica e inorgánica, lo que representa una limitación al mejoramiento de los materiales poliméricos. La ventaja de los nanocompuestos polímero/filosilicato es que permiten superar dicho límite, mejorando las características mecánicas y térmicas y la permeabilidad del mismo polímero, con el agregado de cantidades mínimas (del orden del 5%) de silicatos.

Este tipo de materiales están teniendo amplia aplicación sobre todo en el campo de los envases para alimentos, por su propiedad de barrera a la penetración de los gases, de hasta 5 a 15 veces mayor que la del polímero puro y de polímeros cargados que a menudo contienen hasta un 20 o 30% de material silíceo (mica, talco o carbonato de calcio). Por otra parte, los nanocompuestos de silicato/polímero presentan también un poder de retardo de llama mejorado; los ensayos muestran que el pico de velocidad de la emisión de calor, que es una medida de la inflamabilidad del material, en el caso de un nanocompuesto llega a ser del 60 al 80% más bajo que el de un polímero puro. Al mismo tiempo, las propiedades mecánicas exhiben mejoras significativas, como mayor tenacidad y resistencia a la abrasión.

d) Capas delgadas

Las capas delgadas o películas estructuradas en escala micrométrica se utilizan ampliamente desde hace tiempo como recubrimiento de superficies a las cuales se desea conferir propiedades diferentes a las normales del material. Se emplean en recubrimientos para herramientas, en vidrios planos reflejantes de la energía solar y hasta en campos como los sensores. La realización de películas nanoestructuradas permitirá mejorar notablemente la relación beneficio/costo en los usos ya conocidos, además de desarrollar otros completamente nuevos. Las películas nanoestructuradas darán lugar así a uno de los campos de aplicación con perspectivas más inmediatas.

Este sector ha hecho amplio uso de los recubrimientos superficiales para favorecer el comportamiento de componentes sometidos a la abrasión y al desgaste, como las herramientas para trabajado mecánico (corte, perforación, fresado, embutido, estampado y otras), y también para su uso como barrera térmica en componentes como los álabes de las turbinas a gas. El uso de recubrimientos nanoestructurados está permitiendo nuevas posibilidades en este campo, ya que producen un mejoramiento sustancial en el comportamiento de los componentes.

Por ejemplo, las películas y capas delgadas nanoestructuradas presentan, en relación con los recubrimientos tradicionales, una mayor resistencia a la abrasión y una dureza un 60% superior. El recubrimiento puede ser aplicado también a materiales poliméricos cuya escasa resistencia a la abrasión y al rayado limita sus usos. Hay recubrimientos capaces de variar sus propiedades químicas, estructurales y mecánicas según los esfuerzos, condiciones químicas y al ambiente en el cual deben trabajar (humedad, temperatura, vacío, atmósferas especiales). Estas capas están constituidas por nanopartículas de carburo de titanio o de tungsteno dispersas en una matriz de carbono amorfo. La dureza de estos nanocompuestos es muy elevada, y su tenacidad es unas 3 a 4 veces superior a la de otros carburos; además, por encima de su límite elástico presentan un comportamiento plástico que disminuye su fragilidad.



Figura II.18. Prime&Bond, un adhesivo dental a base de nanopartículas, comercializado por Dentsply. Fuente: www.dentsply-iberia.com

II.6.2 Membranas de porosidad controlada

La posibilidad de controlar la dimensión de los granos y por lo tanto la porosidad de las películas nanoestructuradas permite fabricar membranas de alta eficiencia para los procesos de filtración, adsorción y desorción, almacenamiento químico y de energía eléctrica y catálisis. En lo que respecta a la purificación del agua, las películas nanoestructuradas han permitido desarrollar el sistema FTC (Flow Through Capacitor) para la desalinización, que requiere diez veces menos energía

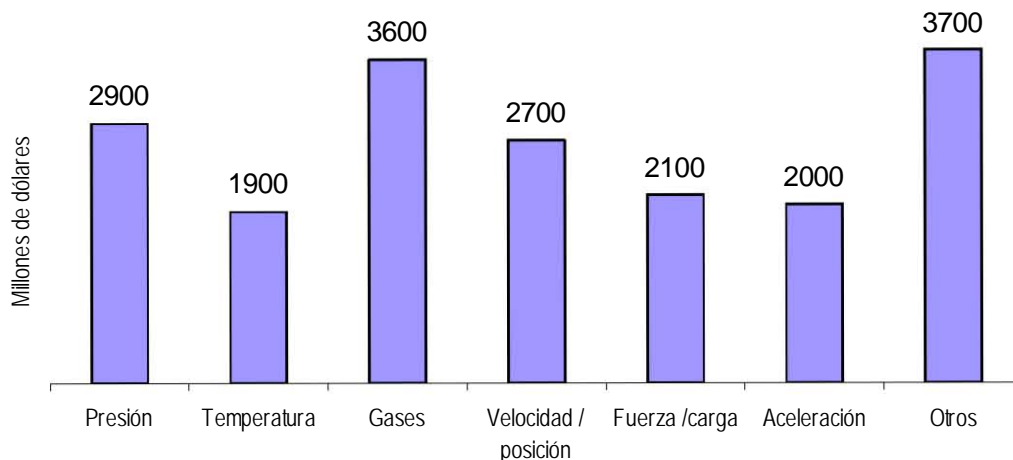
que los más modernos sistemas de ósmosis inversa, y cien veces menos que los basados en la destilación.

II.6.3 Sensores

Los sensores son dispositivos que sirven para medir diversas magnitudes físicas (temperatura, presión, longitud, potencial eléctrico, velocidad, concentración de ciertos elementos o productos químicos, etc.), y sus variaciones en función del tiempo o de otras variables de interés. Se trata de un mercado en fuerte expansión bajo el empuje de nuevas exigencias a las cuales los sensores deben dar una respuesta confiable sin incrementar los costos. Ejemplos dentro de la gran variedad de sensores existentes, son:

- *Sensores de gases*, en los cuales la presencia de un gas de una cierta composición produce variaciones medibles en la resistencia eléctrica de una película;
- *Sensores de movimiento y deformación mecánica*, utilizando las propiedades piezoeléctricas de ciertos materiales que responden con una señal eléctrica a las deformaciones mecánicas que sufren y que se deforman en presencia de un campo eléctrico;
- *Sensores ópticos*, que basan su funcionamiento en medios ópticos y electrónicos para detectar presencia.

Los sensores son una actividad de creciente interés económico que puede ser potencializada, aún más, por la nanotecnología.



Mercado Proyectado de sensores MEMs, al 2006: 6.7% anual.

Fuente: J. C. Chiao. "Sensors and Communications" Primera Reunión de MEMs en México, Jalisco, septiembre de 2003.

El
cam
po

de aplicación de los sensores es muy amplio, y comprende grandes sectores de manufactura y servicios. Se prevé que con la adopción de nanotecnologías en el

campo de los sensores, la reducción de costos y la mejora del funcionamiento producirá cambios positivos en los mercados que utilicen este tipo de dispositivos.

II.6.4 Catalizadores

La catálisis es un fenómeno fisicoquímico que permite acelerar o retardar una reacción química gracias a la presencia de una sustancia, denominada catalizador. Los catalizadores han permitido el desarrollo de sectores críticos como la petroquímica, y son igualmente necesarios en otras áreas como la farmacéutica, la producción de alimentos, materiales plásticos, detergentes, fertilizantes, pesticidas, insecticidas, etc. En protección del ambiente la catálisis se utiliza en el control de emisiones contaminantes provenientes de vehículos y de procesos industriales.

La superficie del catalizador expuesta a la reacción que se desea modificar tiene una gran importancia. Así, los catalizadores constituidos por nanoagregados presentan un área superficial muy elevada, y por lo tanto son más reactivos que los catalizadores de estructura normal. Por otra parte, estudios experimentales están demostrando que las nanopartículas pueden conferir propiedades catalíticas ventajosas a materiales de bajo costo que, en sus estructuras normales, no presentan gran interés como catalizadores.

II.6.5 Microelectrónica y tecnologías de la información

Un estudio patrocinado por el Science and Technology Council de la Presidencia de los Estados Unidos, prevé para los próximos años la puesta en el mercado de los siguientes dispositivos y sistemas cuyo desarrollo estará fuertemente condicionado por los progresos de las nanotecnologías:

- Microprocesadores nanoestructurados que continuarán con la tendencia de mejora continua de las computadoras.
- Sistemas de comunicación en bandas diez veces más anchas que las actuales, con efectos profundos en la industria y en los servicios (financieros, de seguros, instrucción pública, salud, defensa, etc.).
- Sistema de almacenamiento de información con dimensiones cada vez más reducidas, y capacidad más de mil veces superior a la actual.
- Sistemas integrados de nanosensores capaces de captar, medir, procesar y transmitir cantidades masivas de información, con dimensiones, peso y consumo de energía cada vez más reducidas.

Los sistemas mencionados, cualquiera sea el grado de desarrollo que logren alcanzar, influenciarán no solamente al sector productivo sino también cada aspecto de la vida cotidiana, como ya ha ocurrido con los progresos alcanzados hasta hoy en el sector de la microelectrónica y de las tecnologías de la información.

II.6.6 Industria automotriz

Esta industria, por sus dimensiones, tiene un papel importante en la difusión de las innovaciones (nuevos materiales y procesos, nuevos sistemas de control, etc.). Tales cambios, nacidos a menudo en sectores de punta sin fuertes restricciones de costos, dan origen a mercados inicialmente muy limitados. Si los cambios son adoptados por la industria automotriz, el mercado se expande rápidamente, difundiéndose a otros sectores, dando origen a otras actividades económicas. Es ilustrativo el ejemplo de los materiales compuestos, creados para satisfacer las exigencias de la industria aeroespacial. Estos materiales han sustituido a los metales en muchos componentes de la carrocería; la demanda de materiales compuestos ha crecido tanto como para provocar una actividad económica vasta y compleja, con numerosos segmentos, incluidos aquellos relacionados con la recuperación y el reciclado en gran escala. La nanotecnología fomentará el desarrollo de nuevos materiales y sistemas que la industria automotriz deberá adoptar en el futuro. Esta industria representará un salto en la expansión del mercado de materiales y sistemas nanoestructurados. El progreso de la nanotecnología será el elemento crucial de nuevas actividades económicas de notables dimensiones.

Otros progresos previsibles que serán posibles gracias al uso de la nanotecnología en el sector automotriz, son:

- Nuevos materiales poliméricos y cerámicas livianas, de alta resistencia química y estructural, adaptados para cumplir funciones termomecánicas.
- Recubrimientos superficiales de cojinetes y otras partes móviles sometidas a abrasión y desgaste. De particular interés son los recubrimientos autolubricantes que reducirán sustancialmente el uso de aceites y otros lubricantes.
- Nuevos catalizadores de alta eficiencia, químicamente selectivos, fabricados con materiales nanoestructurados de elevada área superficial.
- Pinturas a base de nanopartículas con mejoramiento de la dureza al rayado, la durabilidad y el color de las superficies pintadas.

II.6.7 Energía y medio ambiente

Los problemas relacionados con las fuentes de energía y con la contaminación se cuentan entre los más graves que debe afrontar hoy la sociedad. La nanotecnología será un instrumento para encarar estos dos problemas, estrechamente relacionados, ofreciendo soluciones técnica y económicamente eficaces. Estas soluciones harán posible el mejor aprovechamiento de fuentes de energía renovables y la reducción de los efectos sobre el ambiente.

La nanotecnología puede proporcionar, en el corto y mediano plazo, una contribución sustancial a la disponibilidad de energías limpias gracias a la posibilidad de utilizar películas nanoestructuradas en los sistemas de conversión fotovoltaica de la energía solar. Estas películas, realizadas con materiales semiconductores (silicio, óxidos metálicos), pueden aumentar en forma sustancial el rendimiento de la conversión y reducir los costos.

Otra contribución importante de la nanotecnología a la solución de los problemas energéticos y ambientales se relaciona con la reducción del consumo de energía y de sus efectos sobre el ambiente. Esta tecnología pueden contribuir de manera directa, por medio de sistemas de sensores, con los cuales será posible mejorar el monitoreo de los procesos industriales y los efectos nocivos sobre el ambiente, así como elaborar en tiempo real respuesta correctivas adecuadas. La disponibilidad de sensores nanoestructurados y de catalizadores de alta eficiencia tendrán, en conjunto, un notable efecto en la eficiencia energética y ambiental de los procesos industriales, de los medios de transporte y del sector habitacional (este último con la inclusión de las llamadas "casas inteligentes", con control automatizado de la climatización, de los electrodomésticos y de la iluminación).

A esta contribución directa, indudablemente relevante, se suma una contribución indirecta, a través de los materiales. En efecto, el comportamiento de estos últimos condiciona fuertemente el rendimiento energético de la mayor parte de los sistemas utilizados por la sociedad: el aislamiento térmico de plantas y edificios industriales y civiles (materiales aislantes y no nocivos); medios de transporte (materiales livianos y mecánicamente resistentes); máquinas térmicas, incluyendo las plantas térmicas de generación de energía eléctrica (materiales resistentes a las altas temperaturas en atmósferas agresivas). Quizá menos evidentes son las pérdidas de energía debidas a la fricción y al desgaste, cuyo daño económico global en una economía industrializada ha sido estimado en un 6% del PBI (Revista Cerámica y Cristal, noviembre 2002, Argentina), Las nanotecnologías permitirán desarrollar materiales resistentes ultralivianos diferentes de los utilizados hasta ahora, componentes menos frágiles para trabajos a alta temperatura, artículos y recubrimientos superficiales autolubrificantes o con mayor resistencia a la abrasión y al desgaste.

Los progresos en el campo de los materiales han hecho posible un enfoque cada vez más eficiente y funcional de los diseños de máquinas y sistemas, lo que se ha traducido en un aumento generalizado de la eficiencia energética. Este aumento, sin embargo, resulta hoy insuficiente, considerando también el hecho de que el consumo de energía, con sus respectivos reflejos sobre el ambiente, continúa y continuará aumentando, de manera más acentuada a nivel global. Para lograr mayores incrementos en la eficiencia energética hacen falta soluciones técnicas que involucren, directa o indirectamente, la tecnología de los materiales. La contribución de la nanotecnología en este aspecto será indispensable.

II.6.8 Tecnologías para la vida y salud

El comportamiento de los bloques moleculares que constituyen los seres vivos (proteínas, ácidos nucleicos, lípidos, hidratos de carbono y otros) dependen de sus dimensiones y estructuras a escala nanométrica. La investigación de estos sistemas requiere un enfoque multidisciplinario, en el cual convergen conocimientos y métodos de la física, de la química, de la biología, metodologías sofisticadas, como la simulación mediante modelos matemáticos y la nanotecnología. El dispositivo llamado “Lab-on-a-chip” es un equipo para la realización de análisis clínicos que utiliza cantidades muy pequeñas de muestra y suministra resultados en breve tiempo sin la intervención del laboratorio de análisis. El sistema consiste en una placa de silicio u otra composición, o de un material polimérico, que presenta múltiples canales a través de los cuales se dirigen cantidades del fluido a analizar hacia los puntos sensibles donde se lleva a cabo el análisis. Estos dispositivos, muchos actualmente en etapa de experimentación, se construyen actualmente en escala micrométrica, pero la idea es llevarlos a dimensiones de unos pocos nanómetros, por ejemplo, como laboratorio miniaturizado portátil capaz de llevar a cabo análisis clínicos, incluyendo los relativos al ADN; análisis de productos alimenticios, capaces de detectar la presencia de constituyentes tóxicos o modificados genéticamente. Se prevé también un amplio uso en la investigación farmacológica para estudiar la reacción de células aisladas frente a nuevos fármacos.

Otra de las aplicaciones de la nanotecnología al campo de la farmacología es en el suministro dirigido de fármacos. Las nanopartículas y los recubrimientos superficiales nanoscópicos permiten suministrar fármacos en modo dirigido directamente a las células enfermas. El tratamiento farmacológico en este caso es más eficaz y presenta menos efectos secundarios. Actualmente está en fase de experimentación el uso de nanopartículas en la cura de enfermedades genéticas; en este caso las nanopartículas se utilizan para inyectar ADN sano en sitios celulares específicos para sustituir al gen defectuoso. También se halla en fase de experimentación el uso de nanopartículas magnéticas para guiar y posicionar los fármacos en sitios específicos mediante sistemas magnéticos externos. Partículas de este tipo pueden ser usadas también para efectuar acciones térmicas localizadas de las células cancerosas.

La nanotecnología permitirá, además, contar con materiales para reparación y regeneración de tejidos. Se está dedicando un notable esfuerzo a la investigación de superficies micro y nanoestructuradas capaces de promover el crecimiento controlado de células. Se puede dar origen así a tejidos que reemplacen a partes dañadas, o favorecer la compatibilidad de prótesis y otros sistemas (por ejemplo sensores o sistemas de administración localizada de fármacos) implantados en el cuerpo humano.

Las aplicaciones en los campos biológico y médico, además de su contribución al cuidado de la salud y de la calidad de vida en general, dan origen a nuevas actividades industriales y de servicios de notable valor económico. Si bien muchas

de estas exigen un esfuerzo en la investigación avanzada sólo posible para empresas grandes, a menudo transnacionales, quedan siempre amplios espacios para empresas de dimensiones pequeñas y medianas, que deberán valerse de la competencia científica disponible en las universidades y entes públicos de investigación.

II.6.9 Aplicaciones de la nanotecnología presentes en el mercado, o de cercana comercialización

Las aplicaciones señaladas en los párrafos anteriores se encuentran actualmente en estados diversos de su desarrollo. Por el momento son pocas las aplicaciones que se encuentran ya en el mercado, los ejemplos citados permiten prever que en el futuro la demanda de tecnologías nanométricas crecerá rápidamente.

Entre las aplicaciones ya presentes en el mercado o de inminente aparición se pueden citar las siguientes:

- Sensores de gas destinados a detectar la presencia de gases nocivos en ambientes internos y externos, o de aromas que caracterizan la calidad de bebidas y productos alimenticios ("nariz electrónica").
- Sistemas fotovoltaicos de alta eficiencia para la conversión de energía solar.
- Nuevos materiales de elevada relación resistencia/masa para aplicaciones aeroespaciales, en ingeniería biomédica y en medios de transporte.
- Embalajes inteligentes de productos alimenticios que indiquen el estado de conservación.
- Pantallas de televisión más livianas y funcionales.
- Técnicas diagnósticas basadas en el sistema " Lab-on-a-chip".
- Cosméticos para protección de la radiación solar.
- Tratamientos superficiales de protección de piezas metálicas y de vidrios ópticos (mejoramiento del comportamiento frente a la fricción y al desgaste, y aumento de la resistencia a la abrasión y al rayado).
- Materiales poliméricos nanocompuestos para embalaje de productos alimenticios de mayor impermeabilidad.
- Materiales para filtración y catálisis de hidrocarburos.
- Vidrios autolimpiantes.
- Recubrimientos superficiales con mayor resistencia a la corrosión, a la fricción y al desgaste.
- Nuevas prótesis y otros implantes.

- Técnicas de trabajo de partes para la micromecánica y la microelectrónica a escala de 100 nm.

En la sección de anexos se muestra información referente a aplicaciones comerciales de la nanotecnología. Se incluye en nombre del producto, la empresa que lo comercializa y una breve descripción de su funcionamiento.

II.6.10 Ciencia ficción en la nanotecnología.

Entre las aplicaciones de la Nanotecnología, hay algunas que generan gran escepticismo; ya que parecen surgir de la literatura de ciencia ficción, aunque los expertos aseguran que es posible llegar a ellas. Actualmente se trabaja en el desarrollo de estas aplicaciones. A continuación citaremos algunas de estas aplicaciones potenciales:

Aplicaciones biomédicas

- Revertir el envejecimiento por medio de la manipulación de la regeneración de las células y tejidos del cuerpo humano.
- Restauración de órganos humanos, mediante la administración de un medicamento.
- Curar enfermedades hoy mortales, como el SIDA, al fabricar un nuevo sistema inmunológico.
- Prolongación de la vida a través de la manipulación genética.
- Reparación de genes defectuosos.
- Buscar y destruir virus, colesterol, excesos de grasa, células cancerígenas y demás; por medio de minúsculos robots.

Aplicaciones de autorreplicación

- Máquinas capaces de replicarse a sí mismas y de replicar otros materiales, diseñadas para realizar cualquier tipo de función.
- Producción de alimentos en segundos.
- Nanorrobots equipados con nanocomputadoras que inducen la creación y ensamblaje de estructuras a nivel molecular para crear construcciones en segundos.
- Máquinas moleculares y computadoras de tamaño molecular.

Solución a problemas actuales

- Producción de alimentos “in situ” y en segundos.
- Control de la contaminación ambiental con nanomáquinas, inofensivas al ser humano, diseñadas para eliminar las partículas nocivas del medio ambiente.
- Nanoceldas solares mezcladas con el pavimento de los caminos que permitirían aprovechar la energía solar.
- Máquinas libres de contaminación ambiental.

Aplicaciones en materiales

- Nulo desperdicio de materia en actividades de producción, gracias a las técnicas “bottom-up”.
- Menor desperdicio de energía en actividades de producción. No serán necesarios procesos de corte de materiales.
- Materiales que permitirán un incremento en las prestaciones de los sistemas electrónicos, hasta el punto de hacer inteligentes y autónomos dichos sistemas.

Aplicaciones de defensa

- No habrá más soldados. Los personajes serán microscópicos robots contruidos por nanoensambladores.
- Dispositivos de espionaje imperceptibles a la vista humana.
- Armas biológicas y químicas computarizadas.
- Naves espaciales extremadamente livianas, resistentes, con consumos mínimos de energía y, además, invisibles ante humanos y radares.

II.7 Nanotecnología y desarrollo industrial

Los cambios tecnológicos radicales producen efectos socioeconómicos a través de un proceso de difusión en una amplia variedad de sectores industriales y de servicios, dando origen a productos y procesos nuevos o profundamente modificados. El proceso de difusión para las nanotecnologías se encuentra en la actualidad en su fase inicial, aún en los países más avanzados tecnológicamente. En consecuencia, expresiones tales como "escala industrial", o "sector nanotecnológico" no tienen el mismo significado que en el caso de los sectores de actividad ya consolidados. No se dispone de estadísticas que permitan una adecuada caracterización sectorial (mercados, facturación, ganancias, ocupación, u otros). Aún así, en los países tecnológicamente más evolucionados puede ya reconocerse un sector naciente de nanotecnología en el cual comienzan a delinearse las características de oferta y demanda.

II.7.1 Oferta y Demanda

Actualmente se producen materiales y sistemas nanoestructurados mediante procesos originados en laboratorios de investigación capaces de producir sólo cantidades limitadas de productos y servicios basados en nanotecnología. No sorprende por lo tanto el hecho de que la oferta de estos productos (por ejemplo polvos, materiales, dispositivos y servicios de asistencia técnica) se halle concentrada en pequeñas empresas de reciente constitución, nacidas en muchos casos en universidades o centros de investigación.

En lo que respecta a las grandes empresas, su papel en la estructura de la oferta aparece por el momento en forma indirecta. De hecho, las actividades de investigación y desarrollo que desarrollan en la práctica todas las empresas líderes en sectores clave (electrónica, telecomunicaciones, química, defensa,

farmacología, auto transporte) parecen dirigidas a integrar los progresos de estas tecnologías a sus productos finales, más que a operar directamente sobre el mercado de productos y servicios.

Las grandes empresas tendrán en todo caso un papel extremadamente importante en cuanto contribuirán a aumentar considerablemente la demanda de nanotecnología. Esta demanda podrá ser satisfecha desde el interior de las mismas empresas, pero también a través de empresas pequeñas, las cuales podrán eventualmente beneficiarse del acceso a ciertas tecnologías que no podrían desarrollar por sí solas. No debe excluirse, por otra parte, que las grandes firmas promuevan la creación de nuevas iniciativas empresariales para operar en el mercado de la nanotecnología, contribuyendo así a ampliar la oferta.

Los usuarios de productos y servicios nanoestructurados son ya numerosos (basta observar la lista de productos nanotecnológicos en el mercado, en la sección de anexos) y lo serán cada vez más, dando origen a una demanda potencialmente elevada de estos productos. Los usuarios potenciales pueden ser empresas industriales o de servicios, pequeñas y grandes, así como grandes estructuras públicas (salud, transportes, energía, etc.).

II.7.2 Instrumentación científica

El papel de la instrumentación es fundamental para el desarrollo de un campo innovador. Los instrumentos cada vez más sofisticados han permitido realizar descubrimientos en campos como la genética y la biotecnología, y han posibilitado el progreso del diagnóstico médico e industrial, ayudando a verificar el cumplimiento de los requisitos más severos de calidad y seguridad.

La nanotecnología estará relacionada con la instrumentación de tres maneras:

1. La demanda de instrumentación, que crecerá rápidamente como para permitir la difusión del empleo de soluciones nanoestructuradas;
2. La demanda de soluciones nanotecnológicas por parte de los sectores de la instrumentación científica, biomédica e industrial, que serán los beneficiarios más directos de los progresos en estas tecnologías, y
3. La posible participación en el negocio de la instrumentación tanto de las empresas existentes como mediante la creación de empresas nuevas.

En relación con el punto 3, debe recordarse que el sector de la instrumentación ha tenido origen en las iniciativas empresariales de investigadores y de personal técnico industrial, mediante las cuales se ha valorizado la experiencia en la construcción experimental de instrumentos. En la actualidad el sector de la instrumentación es muy vasto. Operan en él divisiones de grandes grupos industriales (Philips, Hitachi), y también empresas independientes de dimensiones media y pequeña, proponiendo al mercado una variedad muy amplia de productos

y servicios. También la demanda es muy variable y por lo tanto deja importantes "nichos" para nuevas iniciativas.

II.7.3 Factores que condicionan el desarrollo industrial de la nanotecnología.

El desarrollo industrial de la nanotecnología depende de su difusión en el sistema productivo. Es a través de la difusión que un cambio científico-tecnológico se transforma en un conjunto de innovaciones con grandes implicaciones socioeconómicas. La difusión de un cambio innovador es, sin embargo, un proceso complejo condicionado no sólo por factores tecnológicos y económicos que determinan, para los distintos sectores, la factibilidad y la conveniencia de adoptar tal cambio. Este proceso está también fuertemente influenciado por el contexto sociocultural y económico dentro del cual se desarrolla la difusión misma.

La relación entre proceso innovador y contexto sociocultural es compleja. En los países en vías de desarrollo, como México, algunos elementos de esta relación, de importancia evidente para la nanotecnología, son los siguientes:

- La propensión al riesgo, de individuos y empresas, es uno de los primeros factores que son tomados en cuenta para decidir no entrar a nuevos campos, ni aprovechar las oportunidades ofrecidas por el progreso científico y los nuevos conceptos tecnológicos;
- Hay poco interés o capacidad de los gobiernos de reconocer en la investigación y en la innovación instrumentos de desarrollo socioeconómico, no se les otorga la debida prioridad, ni en asignación de los recursos ni en gestión adecuada de los mismos.
- El funcionamiento del sistema financiero, que debe estimular la innovación en las empresas y el nacimiento de empresas de alta tecnología, no cuenta con funcionalidad ni eficacia, y
- No se fomenta la capacidad del sistema científico y universitario de interactuar con el sistema productivo, no se inspira ni favorece el desarrollo de innovaciones y su difusión en la economía.

Los productores de materiales y dispositivos nanoestructurados que operan actualmente en el mercado utilizan, en su mayoría, variantes de procesos puestos a punto en laboratorios universitarios o de entes de investigación. El equipamiento de proceso y de control es complejo, y debe ser operado por personal especializado. Las cantidades producidas son limitadas. Los costos son, por lo tanto y por ahora, elevados.

II.7.4 Investigación y desarrollo industrial

En el desarrollo industrial de la nanotecnología, así como en el de otros campos innovativos, resulta esencial la colaboración entre las empresas y el sistema universitario e institutos de investigación y desarrollo. Tal colaboración no es un

hecho nuevo: en el pasado ha producido contribuciones de gran importancia, no solo desde el punto de vista científico-tecnológico, sino también con la creación de riqueza. En los países desarrollados hay experiencia en traducir los resultados de la investigación realizada en los ámbitos universitarios a las actividades productivas altamente redituables. Las contribuciones de las universidades y entes científicos pueden materializarse principalmente en dos formas:

1. *La creación de nuevas iniciativas empresariales.* Investigadores de laboratorios universitarios han reconocido las oportunidades ofrecidas por los progresos científicos y tecnológicos y, transformándose en empresarios, han contribuido al nacimiento de sectores industriales como la química y la electrometalurgia, la electrónica, las telecomunicaciones, la instrumentación científica, médica e industrial. Actualmente son numerosas las iniciativas empresariales que han germinado en los ámbitos universitarios con base en las cuales se están desarrollando sectores altamente innovadores como materiales avanzados, informática avanzada y biotecnología.
2. *La colaboración de las empresas en actividades de investigación y desarrollo.* En los países más desarrollados, la capacidad de establecer formas idóneas de colaboración entre empresa y universidades u centros de investigación es uno de los factores de éxito para la innovación y competitividad de estas empresas. Este tipo de colaboración se vuelve indispensable para las empresas medianas y pequeñas que, no pudiendo sostener los costos de una actividad de investigación y desarrollo, deben mantener un adecuado nivel de innovación y competitividad.

La colaboración entre empresas y universidades y centros de investigación, en el campo de la nanotecnología, se está ya materializando. Cada empresa que busque consolidarse como productora o como usuaria de soluciones nanotecnológicas, cualesquiera que sean sus dimensiones, deberá contar con el apoyo de una universidad o un instituto de investigación enfocados en investigación de punta. La rápida evolución del conocimiento, en el campo de la nanotecnología, hace indispensable la actualización permanente de conocimientos. La empresa requiere, además, el acceso a instrumentación sofisticada, que en muchas ocasiones está presente en los centros de investigación.

II.8 Etapas proyectadas de la nano

Según el documento titulado "*The Current Nanotechnology Situation in the World*", realizado por Mark Durcan, Director del Área Técnica y Vicepresidente de Investigación y Desarrollo de *Micron Technology Inc.*; el desarrollo de la nanotecnología comprenderá varias etapas:

- o *2001. Primera Generación:* nanoestructuras pasivas. Recubrimientos, nanopartículas, metales nanoestructurados, polímeros y cerámicas.

- 2005. *Segunda Generación*: nanoestructuras activas. Transistores, amplificadores, actuadores y estructuras adaptables.
- 2010. *Tercera Generación*: nanosistemas 3D. Nanocomponentes heterogéneos, dominio de varias técnicas de ensamblado.
- 2020. *Cuarta Generación*: nanosistemas moleculares. Moléculas heterogéneas, basadas en biomimética y nuevos diseños.

II.9 Reflexiones en torno a la nanotecnología

La nanociencia constituye un crisol multidisciplinar que aglutina en su desarrollo a muy diversas disciplinas, tales como física, química, medicina, biología, informática, etc. La importancia de la investigación multidisciplinar tiene muy diversos exponentes a lo largo de estas últimas décadas; como ejemplo cabe recordar a este respecto que los descubridores del ADN, Watson y Crick, pertenecían a distintas disciplinas: el primero era biólogo y el segundo era físico, y su colaboración vino a marcar un importante avance en la historia de la ciencia. También cabe hacer referencia a la importancia que puede tener la trayectoria interdisciplinar de una misma persona, como es el caso de algunos premios Nóbel, por ejemplo, Joseph Stiglitz, Nóbel de Economía, quien primero cursó estudios de Física en la universidad, y después entró en el campo de la Economía, lo cual es evidente que le resultó fructífero en su acervo intelectual.

Por el momento se podría considerar que la nanotecnología se encuentra en sus inicios, ya que en los últimos años se ha venido desarrollando fundamentalmente la nanociencia, que constituye el sostén fundamental para el desarrollo y aplicaciones específicas de la propia nanotecnología. La importancia de la nanotecnología es tal que muchos la consideran la nueva revolución industrial. Paul E. Burrows, director de la Nanoscience and Nanotechnology Initiative de Estados Unidos, señala que esta nueva ciencia supone el primer cambio verdadero en el campo de la tecnología desde la Edad de Piedra, ya que en su opinión los avances que se han venido produciendo desde dicha época no han consistido en otra cosa que en darles nuevas formas a los materiales existentes, mientras que con la nanociencia y la nanotecnología se cambia realmente la estructura de las moléculas, moviendo los átomos uno a uno con la consiguiente afloración de nuevos materiales y compuestos.

La nanotecnología originará un replanteamiento de la economía y una remodelación de numerosas estructuras y sectores productivos. Desde un punto de vista microeconómico, los nuevos procesos de producción en muchas empresas van a poder originar importantes mejoras en los dos ejes fundamentales de la competitividad, esto es, en precios y calidad de los productos. Analizando la economía desde un punto de vista sectorial, cabe pensar que se van desarrollar nuevos sectores productivos, los cuales van a transformar en buena medida el sistema macroeconómico en el mediano plazo. Por ejemplo, se desarrollarán sectores dedicados a nanomateriales, nanobiología, nanoelectrónica,

nanoinstrumentos, así como al software para modelar y controlar las distintas actividades productivas.

Desde un punto de vista social, los avances en la nanociencia y en la nanotecnología van a implicar importantes cambios. En el terreno de la medicina y de la farmacología se prevén muy importantes avances y desarrollos que es de esperar puedan otorgar una mayor calidad y esperanza de vida a los ciudadanos. Las enfermedades, la contaminación, el desabasto energético, el hambre, etc. no serán las principales preocupaciones de los humanos de las futuras décadas. El trabajo no será más como lo conocemos hoy. Una parte de los obreros, que hoy manipulan materiales de trabajo durante ocho o más horas al día, pasará a ocupar puestos en el sector de los servicios. En el terreno de la robótica, por ejemplo, se va a originar una importante renovación, ya que se está incluso pensando en la producción de robots que se autorrepliquen, aunque bien es cierto que ello podría traer como consecuencia indirecta en diversos ámbitos dejar a muchas personas sin empleo.

II.9.1 Consideraciones respecto a implicaciones sociales y económicas de la nanotecnología

En muchos medios, principalmente la internet, el debate sobre la nanotecnología gira alrededor de una teoría conocida como la "plaga gris", propuesta hace algunos años por Eric Drexler, quien sugirió que la aportación más relevante de la nanotecnología serán los robots de tamaño nanométrico, los cuales, bajo el control de programas de computadora, fabricarán cosas útiles, incluyendo copias de sí mismos. Drexler llamó a estos robots "ensambladores" y sugirió que enormes ejércitos de ensambladores, bajo el control de un programa de computación, proporcionarían la base para un artefacto doméstico que podría fabricar cualquier cosa que se le ordenara, satisfaciendo todas las necesidades y deseos de la humanidad, a un costo baratísimo. Aún más, Drexler calculó que si a un ensamblador le toma 1,000 segundos hacer una copia de sí mismo, entonces los ensambladores autorreplicantes podrían cubrir el planeta con una plaga gris en 72 horas. Esta idea de Drexler parece exagerada. Varios científicos han intentado desacreditarla diciendo que viola leyes de la química y la física. Sin embargo, nadie afirma que todas las leyes de la física y la química se entiendan totalmente, de manera que siempre hay cabida para la especulación.

A pesar de las críticas de la visión de plaga gris, la comunidad financiada federalmente para investigar la nanotecnología no ha sido capaz de disipar la visión de un mundo muy perjudicado por la nanotecnología. Nadie parece dudar de que esta tecnología guarda la gran promesa de mover la economía mediante la innovación industrial, pero persisten dudas acerca de su "lado oscuro", alimentadas en parte por la historia de anteriores tecnologías subsidiadas por el gobierno.

Según el grupo Fundación para Investigaciones Ambientales, de Canadá, parece haber un patrón de cinco pasos en la historia reciente de las tecnologías subsidiadas por el gobierno. Según este grupo, la nanotecnología está por arribar a la quinta de las siguientes etapas:

(1) Comienza con una decisión corporativa de apropiarse del dinero de los contribuyentes para financiar el desarrollo de una nueva tecnología, después de lo cual el gobierno proporciona un largo flujo de subsidios.

(2) Luego, se escucha un despliegue publicitario del gobierno (y de las empresas) acerca de las posibilidades ilimitadas para aumentar la productividad, mejorando infinitamente la calidad de vida para todos, terminando con la pobreza, curando el cáncer, etc.

(3) Después, el gobierno se niega a poner en práctica (o a hacer cumplir) hasta las regulaciones de mayor sentido común.

(4) El gobierno (conjuntamente con el sector empresarial) oculta la información no deseada e ignora (o desacredita) las voces discrepantes que advierten sobre los problemas que habrá más adelante.

(5) Por último, el gobierno dona el conocimiento y las inversiones públicamente creadas a las élites empresariales, las cuales tienen muchísimas ganancias por una década o dos hasta que se acumulan los informes de daños, el público se da cuenta, y la controversia envuelve a la tecnología. El papel del gobierno en toda esta fase es actuar como una esponja y absorber los golpes de un público molesto, suprimir información no deseada, desacreditar a los detractores, desviar las demandas para una regulación estricta, continuar el despliegue publicitario sobre la tecnología, gastando simultáneamente decenas de miles de millones de dólares adicionales de los contribuyentes en programas complicados (y contradictorios) de culpas, negaciones, limpiezas, restituciones y defensa contra demandas.

Fue un pequeño grupo de investigadores independientes en el oeste de Canadá, ETC Group, en sociedad con otras organizaciones no gubernamentales, quienes primero revelaron el lado oscuro de la biotecnología. Una vez que empezaron a conocerse los hechos, los científicos de la Dirección de Alimentos y Medicinas de Estados Unidos se quejaron públicamente de que sus dudas acerca de la seguridad de los alimentos de biotecnología habían sido ignoradas y ocultadas.

La historia de la biotecnología no ha terminado. Eventualmente las corporaciones químicas-biotecnológicas pueden vencer la resistencia mundial a esta tecnología. No obstante, la introducción de la biotecnología ha originado un debate social y científico. Los entusiastas de la nanotecnología en Washington esperan de evitar que la historia negativa de la biotecnología se repita. Para mostrar su disposición a considerar el "lado oscuro" de la nanotecnología, la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos, celebró una conferencia en septiembre de 2000 titulada "Societal Implications of Nanoscience

and Nanotechnology" ("Implicaciones de la nanociencia y la nanotecnología en la sociedad"). Posteriormente, la NSF publicó un informe de 272 páginas sobre la conferencia. En este informe, la NSF reconoce que la nanotecnología puede aumentar la desigualdad, creando un tipo de "nano división" debido a que aquellos que participan en la "nano revolución" están en posición de volverse muy ricos, mientras que quienes no participen podrán encontrar cada vez más difícil pagar las maravillas tecnológicas que engendre; además de que el público general, cuya sociedad está a punto de ser "revolucionada" por la nanotecnología en los próximos 10 a 20 años, no tendrá ni voz ni voto en el desarrollo de la nanotecnología, excepto por supuesto pagar por ella. La NSF propone resolver estos problemas contratando científicos sociales, filósofos de ética y otros representantes profesionalmente entrenados en el interés público capaces de actuar como comunicadores entre los nanotecnólogos, el público y los funcionarios del gobierno. En diciembre de 2003 se llevó a cabo otra conferencia relacionada con estos temas, titulada: "Nanotechnology: societal implications. Maximizing benefits for humanity", de la que se publicó un reporte que está disponible en el inicio de la página de Internet de la NNI (www.nano.gov). Uno de los resultados de este encuentro fue la programación de un encuentro de nanotecnólogos, especialmente planeado para analizar las amenazas tóxicas de la nanotecnología. El evento se llevó a cabo en Estados Unidos, en el mes de febrero de 2006, y llevó por nombre "1st Internacional Conference on Nanotoxicology".

Como lo hizo en el caso de la biotecnología, ETC Group ha llamado la atención de los científicos y la sociedad en torno al lado oscuro de la nanotecnología. Frecuentemente publica artículos donde cuestiona el enfoque actual del desarrollo de la nanotecnología, siendo sus principal preocupación el hecho de actualmente no existe ningún organismo intergubernamental responsable de monitorear y normar la nanotecnología, no hay estándares científicos internacionales para regular la investigación en laboratorios o la introducción al mercado de nanoproducidos o nanomateriales; además de que muchos de los negocios nanotecnológicos en los Estados Unidos usa la aún no redimida biotecnología para desarrollar productos farmacéuticos, sistemas de administración de medicamentos dentro del cuerpo y otros productos relacionados con la atención de la salud.

Una de las publicaciones de ETC Group resume los principales temas respecto a los cuales han hecho denuncias. El documento, denominado "Diez advertencias tóxicas", contiene los siguientes puntos:

1. En 1997 se descubrió que las nanopartículas de dióxido de titanio y óxido de zinc, utilizadas en bloqueadores de sol, promueven los radicales libre en las células de la piel, dañando el ADN. (Universidad de Oxford y Universidad de Montreal).
2. En marzo de 2002 investigadores del Center for Biological and Environmental Nanotechnology (CBEN), de la Universidad de Rice, Houston, reportaron al Ministerio de Protección al Ambiente del Gobierno

de Estados Unidos que las nanopartículas se acumulan en los órganos de animales de laboratorio y son incorporadas a las células.

3. En marzo de 2003, investigadores de la NASA y el Jhonson Space Center reportaron que los nanotubos en los pulmones de ratas produjeron mayor respuesta tóxica que el polvo de cuarzo. Científicos del Laboratorio DuPont Haskell presentaron hallazgos diferentes pero muy preocupantes en torno a la toxicidad de los nano tubos.
4. En marzo de 2003, el Grupo ETC publica el primer reporte científico acerca de la toxicidad de las nanopartículas, un estudio del toxicopatólogo Vyvyan Howard. El Dr. Howard concluye que entre más pequeña es la partícula más alta es su posibilidad de toxicidad y que las nanopartículas tienen varias rutas hacia el interior del cuerpo y a través de membranas tales como la barrera de sangre del cerebro.
5. En julio de 2003, Nature reporta sobre el trabajo del científico del CBEN, Mason Tomson, que demuestra que los fulerenos pueden ser absorbidos sin obstáculos por el suelo. Las nano partículas pueden ser fácilmente absorbidas por los microorganismos del suelo, lo cual posibilita que se muevan hacia arriba en la cadena alimentaria y lleguen hasta los humanos.
6. En enero de 2004, el Dr. Ken Donaldson, de la Universidad de Edimburgo, publicó que las nanopartículas son capaces de moverse fácilmente del tracto nasal al cerebro.
7. En enero de 2004, investigadores de la Universidad de Leuven, Bélgica, dedicados a la seguridad de la nanotecnología, escriben en Nature que las nanopartículas requerirán nuevos estudios de toxicidad.
8. En enero de 2004, durante la primera conferencia científica sobre nanotoxicidad, "Nanotox 2004", el Dr. Vyvyan Howard informó que las nanopartículas de oro se pueden mover, a través de la placenta, de la madre al feto.
9. En febrero de 2004, científicos en la Universidad de California en San Diego descubrieron que las nano partículas de selenide de cadmio (puntos cuánticos) pueden irrumpir en el cuerpo humano ocasionando el envenenamiento potencial por cadmio.
10. En marzo de 2004, la Dra. Eva Oberdörster reportó, durante la reunión de la American Chemical Society, que los fulerenos ocasionan daño cerebral en los peces jóvenes, además de disturbios en la función genética. Describió qué pasó cuando expuso nueve robalos a un agua que contenía concentraciones de fulerenos de 500 partes por mil millones. Después de sólo 48 horas, los investigadores encontraron daños "severos" en el tejido cerebral de los peces bajo la forma de una "peroxidación lípida", lo que

ocasiona la destrucción de las membranas celulares, relacionada a enfermedades como el Alzheimer. Los investigadores también encontraron marcadores químicos en el hígado indicando inflamación, lo cual sugiere una respuesta de todo el organismo ante la exposición a las buckyballs.

En noviembre de 2005 ETC llevó a cabo conferencias en México sobre los impactos negativos de la nanociencia y la nanotecnología. Estas reuniones se realizaron en la Facultad de Economía de la UNAM y en el Colegio de México. Estuvo presente el Director Mundial de ETC Group, Pat Mooney, y la representante del grupo en América Latina, Silvia Ribeiro, además de expertos mexicanos en el área como el Dr. Humberto Terrones y los economistas Andrés Barreda y Alejandro Nadal. El fin de estas conferencias fue hacer notar que actualmente no se cuenta con un sistema de regularización y control de los avances de la nanociencia y la nanotecnología, y aún cuando hay entusiastas que promueven su desarrollo, existen males que pueden traer consigo, principalmente para países en vías de desarrollo.

Para conocer de manera directa el punto de vista de ETC Group respecto a la nanotecnología entrevistamos a Silvia Ribeiro en las oficinas que la organización tiene en México. Nos habló acerca de las amenazas biológicas que puede representar el introducir al medio ambiente nanopartículas que nunca habían estado presentes, argumentando sus temores con base en los resultados de estudios acerca de la toxicidad de productos nanotecnológicos. Al cuestionarla acerca de qué posición debe tomar México ante un cambio inminente, y al parecer inevitable, como lo es la nanotecnología, respondió que en México no debemos adherirnos a “corrientes de moda” por el simple hecho de estar a la vanguardia, y que debemos buscar soluciones reales a problemas que son prioritarios. Finalmente, se pronunció a favor de una moratoria en los avances de la nanotecnología como último recurso, aclarando antes que lo mejor sería evitar a toda costa seguir con el desarrollo de esta área⁶.

Es un hecho que el uso no controlado de la ciencia y la tecnología puede tener impactos negativos. Debido a esto, han surgido esfuerzos y cuerpos reguladores tendientes a cubrir tanto los riesgos asociados al uso actual de la tecnología como los derivados de sus usos potenciales. La nanotecnología, como área emergente, debe considerar en su desarrollo las normas y regulaciones necesarias para evitar los posibles efectos negativos que pueden ser una limitante para su avance.

Los pronósticos respecto al momento en que será claramente notable el impacto social de la nanotecnología varían desde unos pocos años hasta dos o más décadas. Lo cierto es que la investigación y desarrollo en esta área se está dando a un ritmo vertiginoso, y el día en que se considera que será urgente la regulación se acerca cada vez más. Los logros en la nanotecnología se mueven rápidamente del laboratorio al mercado, por lo que es importante desarrollar anticipadamente

⁶ Para mayores detalles, se incluye un anexo con los puntos más relevantes de la entrevista realizada a Silvia Ribeiro, representante de ETC Group en América Latina.

regulaciones y normas que aseguren que sus productos y tecnologías no tengan efectos perjudiciales. El momento actual es el adecuado para pensar sobre las formas de regular la nanotecnología, de manera tal que se eviten los daños que pudiera causar el mal uso de la misma.

II.9.2 Regulaciones y normas en nanotecnología

La propuesta más conocida, en cuanto a regulación para el campo de la nanotecnología, es la promovida por el Foresight Institute: *Foresight guidelines on molecular nanotechnology* (Lineamientos prospectivos sobre la nanotecnología molecular). Estos lineamientos contienen algunas recomendaciones para lo que los autores y promotores denominan “desarrollo responsable de la nanotecnología”. El criterio general es la búsqueda de una regulación equilibrada, no muy restrictiva, que se enfoque en la autorregulación de la industria y de la comunidad científica, conduciéndose según principios ecológicos y de salud pública, tomando muy en serio las consideraciones de ciclo total de vida del producto. Se presta especial atención al problema de la autorreplicación, que en una situación extrema pudiera llevar, por accidente o deliberadamente, a una enorme devastación. Igual atención se presta a la necesidad de proveer dispositivos de seguridad autocontenidos en los dispositivos que se elaboren. Los lineamientos revelan, también, la preocupación del posible uso militar o terrorista de la nanotecnología.

Los lineamientos plantean que los gobiernos, compañías e individuos que rehúsen o no sean capaces de seguir principios responsables para el desarrollo y uso de la nanotecnología deberán ser puestos, de ser posible, en desventaja competitiva respecto al acceso a la propiedad intelectual, a la tecnología y a los mercados. De igual forma se plantea que la capacidad de desarrollo de esta tecnología deberá ser restringida, siempre que sea posible, a actores responsables que se comprometan con el uso de los lineamientos.

En lo que a materia de normalización se refiere, hay que señalar que el Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST) de Estados Unidos contribuye de manera importante a la National Nanotechnology Initiative. Los esfuerzos del NIST se enfocan en dos grandes retos, la instrumentación y metrología, y junto con la National Science Foundation, los procesos de manufactura. El financiamiento para el área de nanotecnología en el NIST pasó de 8 millones de dólares en 2000, a una ejecución de 58.5 millones de dólares en 2005.

Los proyectos que se financian con estos fondos están en las áreas de nanoquímica, nanobiotecnología, caracterización de materiales nanoestructurados, y computación cuántica. La investigación de los laboratorios del NIST se enfoca en:

- a) Investigación en nanomagnetismo para la medición y la creación de normas necesarias a las aplicaciones actuales y a corto plazo de la nanotecnología en las industrias de semiconductores, comunicaciones y salud;

- b) Investigación conducente a la creación de normas y herramientas para la visualización y caracterización a escala nanométrica;
- c) Investigación necesaria en mediciones fundamentales, que se requerirán para las futuras generaciones de hardware.

Capítulo III

Nanotecnología en el mundo

Hasta este momento hemos definido, a grandes rasgos, las características de la innovadora tecnología motivo de nuestra tesis. Como el lector seguramente habrá notado, pareciera que los alcances y potencialidades de la nanotecnología no tienen límites; por esto es preciso, entonces, trazar la línea imaginaria que separa los desarrollos de las potencias mundiales, de la situación actual en la que se encuentran países como el nuestro. Como una primera aproximación, ofreceremos el panorama del estado de la nanotecnología en los países líderes en la materia, revisando y comentando a aquellos que han hecho esfuerzos notables; presentaremos una visión general de las iniciativas a nivel internacional: el como están siendo financiadas y que sectores de la sociedad están participando en ellas. De igual manera, esbozaremos las estrategias que han seguido los países que se perfilan como las próximas potencias mundiales; cobra especial importancia en nuestro análisis el caso de Corea, país que hasta hace unos años se encontraba en una posición similar a la nuestra, y que hoy en día ha superado el rezago en el que se encontraba, debido en gran medida a la acertada postura que ha adoptado ante el actual torbellino tecnológico.

Posteriormente, concentraremos nuestra atención en la situación de la nanotecnología en México, en un capítulo especialmente dedicado al tema.

III.1 Nanotecnología y el mundo

Todos los países industrializados, y algunos visionarios de economías emergentes, han dedicado recursos humanos, materiales, financieros y tecnológicos a favor del desarrollo e investigación en nanociencia y nanotecnología. Las voces de los diversos actores en materia de economía, política, educación e industria se han unificado en una misma dirección; la necesidad de iniciar y mantener una serie de esfuerzos coordinados para promover el desarrollo de los bienes y servicios relacionados con la tecnología a la nanoescala.

Ante los evidentes cambios que se están gestando, las grandes potencias no se podían quedar cruzadas de brazos. Así, la inversión en nanotecnología se ha incrementado en los últimos años de manera constante. De acuerdo con un estudio hecho por Lux Research¹, una de las compañías consultoras (en todo lo relacionado con la nanotecnología) más importantes del mundo, la inversión

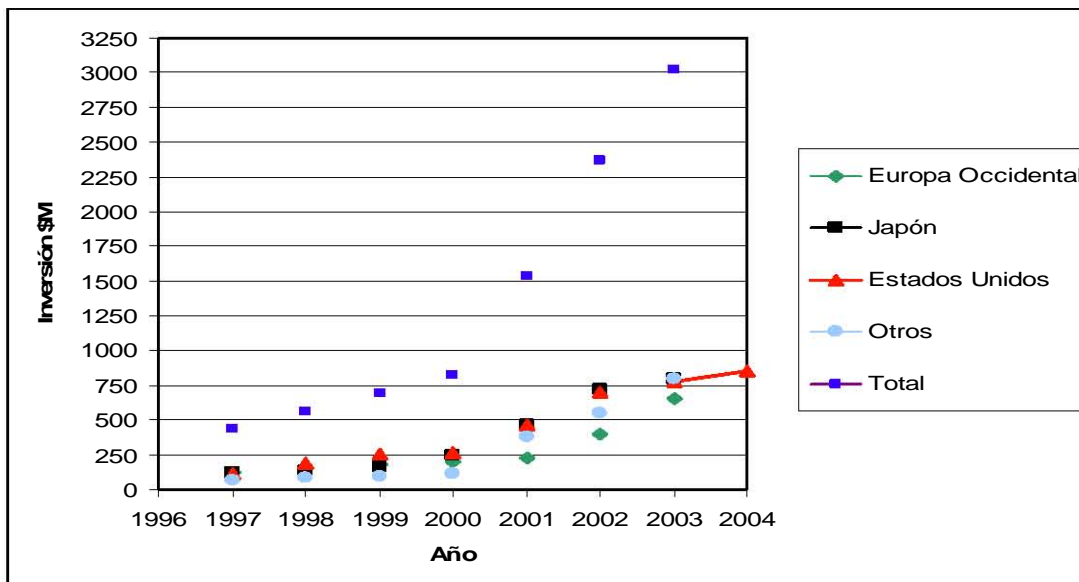
¹ www.luxresearchinc.com. La información relativa al estudio de Lux Research fue tomada de un artículo publicado en www.euroresidentes.com.

mundial en el sector de que nos ocupa superaría, tan solo en 2004, los \$8.6 mil millones de dólares. De estas inversiones, el sector público habrá aportado \$4.6 mil millones de dólares. Según el mismo informe, durante el año 2004, un total de 1500 empresas habían anunciado su intención de implementar estrategias vinculadas a la nanotecnología. Ante esta situación, la necesidad de hacer un análisis profundo y de tomar acciones se vuelve imperante.

La gráfica y la tabla siguiente muestran la estimación de la National Science Foundation² sobre la tendencia que ha seguido, hasta el 2003, el presupuesto de algunos países dedicado al rubro. Como puede verse, Japón y Estados Unidos lideran las inversiones en nanotecnología. Como se verá más adelante, China se constituye como el tercer competidor, en nuestro punto de vista y de acuerdo con las estadísticas más recientes.

Región	1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003	2004R
	a	b	a	B	a	b	a	b	a	b	a	b	a	
Europa Occidental ¹	126		151		179		200		~225		~400		~650	
Japón	120		135		157		245		~465		~720		~800	
Estados Unidos*	116		190		255		270		465**		697**		774	849
Otros*	70		83		96		110		~380		~550		~800	
Total	432		559		687		825		1,535		2,367		3,024	
(porcentaje con respecto a 1997)	100%		129%		159%		191%		355%		543%		700%	

Tabla III.1. "Europa Occidental" incluye países de Europa y Suiza; las tasas de cambio son 1\$ = 1.1 euros hasta 2002 y 1\$ = 0.9 euros en 2003; 1\$ = 120 yen en 2002; "Otros" incluye Australia, Canadá, China, Europa Oriental, la antigua Unión de las Repúblicas Socialistas Soviéticas, Israel, Corea, Singapur, Taiwán y otros países con investigación y desarrollo en nanotecnología. * Un año económico en E.U. inicia el primero de Octubre, seis meses antes que en la mayoría de los demás países. ** Denota el actual presupuesto registrado al final del respectivo año fiscal. Se incluye el gasto reportado públicamente por los gobiernos.



Gráfica. III.1 Los datos mostrados, hasta 2003, muestran a Japón y a los Estados Unidos en la punta de lanza, y aunque no se muestran los datos para los demás grupos de países, se considera que la tendencia se mantiene.

² La tabla puede encontrarse en http://www.nsf.gov/home/crssprgm/nano/intpersp_roco_june30.htm

III.2 Análisis de patentes

La ciencia y tecnología a la nanoescala, y las áreas relacionadas, han experimentado un rápido crecimiento en los últimos años. Un indicador del desarrollo tecnológico en cualquier área es el número de productos o tecnologías patentadas. Lo que es más, “las patentes son la forma más poderosa de propiedad intelectual, y son esenciales en el crecimiento de una empresa de nanotecnología”³. Así, el análisis de patentes en nanotecnología cobra especial importancia para nuestros fines.

De acuerdo con los datos de un informe publicado en la Journal of Nanoparticle Research⁴, desde 1976 hasta 2002, los 10 países con el mayor número de patentes en nanotecnología son los Estados Unidos, Japón, Francia, el Reino Unido, Taiwán, Corea, los Países Bajos, Suiza, Italia y Australia. También se observó que el mayor crecimiento, en los últimos cinco años se ha dado en los campos químico y farmacéutico, seguidos por los dispositivos semiconductores.

<i>Análisis de países dueños de patentes en nanotecnología (1976-2002)</i>		
Categoría	País apoderado	Número de patentes
1	Estados Unidos	56,828
2	Japón	7574
3	Francia	2087
4	Reino Unido	871
5	Suiza	419
6	China (Taiwan)	382
7	Italia	377
8	Corea	368
9	Países bajos	308
10	Australia	307
11	Suecia	264
12	Bélgica	193
13	Finlandia	125
14	Dinamarca	104

Tabla III.2. Análisis de países dueños de patentes en nanotecnología (1976-2002)

Se incluye una estadística anual, desde 1976 hasta 2002. Como podrá verse, en algunos años no se registra ninguna patente, por lo que los datos no están acumulados en ningún caso. Visiblemente, la tendencia de países como Estados Unidos y Japón está en ascenso.

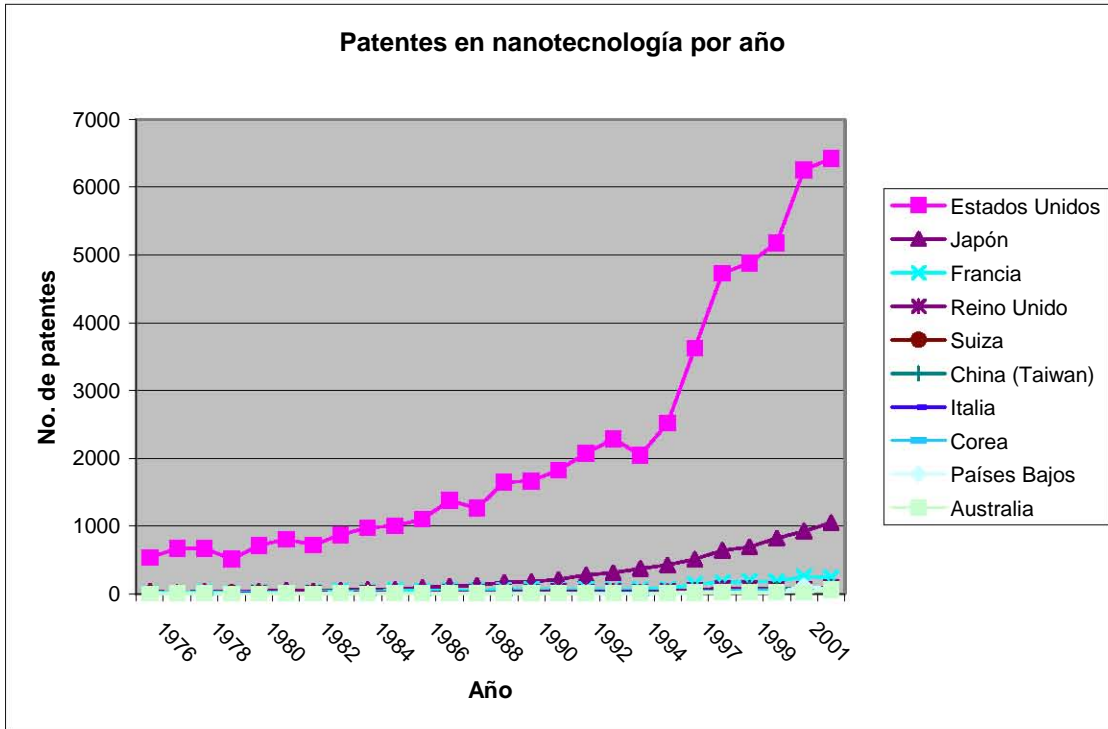
³ Dr. Raj Bawa, *Nanotechnology Patenting in the USA*, Nanotechnology Law&Business, Vol. 1 (2004), No. 1. Artículo 5, y en internet: http://www.rpotechnology.com/files/article_nano_patenting.pdf

⁴ Mihail C. Roco et al “*Longitudinal Patent Analysis for Nanoscale Science and Engineering: Country, Institution and Technology Field*”, Journal of Nanoparticle Research, Kluwer Acad. Publ., 2003, Vol. 5, Issue 3-4

Número de patentes por países dueños de las mismas (por año)										
Año	Estados Unidos	Japón	Francia	Reino Unido	Suiza	China (Taiwan)	Italia	Corea	Países Bajos	Australia
1976	538	40	21	0	7	0	6	0	2	1
1977	670	21	19	0	6	0	6	0	0	5
1978	670	36	34	5	8	0	1	0	4	8
1979	516	27	20	3	9	0	4	0	2	2
1980	718	39	24	15	6	0	5	0	1	2
1981	806	53	20	13	8	0	12	0	4	5
1982	724	43	29	17	3	0	5	0	2	2
1983	874	57	41	10	7	0	7	0	2	5
1984	975	65	25	21	12	0	5	0	4	2
1985	1,005	64	56	16	2	0	7	0	4	4
1986	1,104	93	44	14	9	0	8	0	1	6
1987	1,376	112	51	24	5	0	14	0	4	4
1988	1,263	129	52	22	10	0	8	0	1	5
1989	1,647	172	59	30	13	0	13	0	5	6
1990	1,666	179	65	33	11	2	12	1	5	8
1991	1,824	214	60	45	12	4	9	4	4	3
1992	2,072	280	68	24	16	6	10	2	5	13
1993	2,289	312	67	38	10	5	18	3	6	11
1994	2,049	373	73	29	9	2	12	7	4	16
1996	2,519	423	75	40	11	17	15	14	5	13
1997	3,623	513	146	56	15	16	26	18	8	19
1998	4,731	643	164	82	27	36	28	51	12	25
1999	4,883	694	182	84	37	60	28	56	18	22
2000	5,181	820	182	68	45	65	33	43	21	28
2001	6,254	923	256	74	63	80	38	76	114	25
2002	6,425	1,050	245	100	55	86	44	87	66	61

Tabla III.3. Número de patentes anuales por país. Como el lector podrá observar, los totales obtenidos en la tabla detallada por año no coinciden con los mostrados en la tabla III.1. Sin embargo, ambas provienen del mismo estudio y presentamos los datos tal cual se encuentran en la fuente.

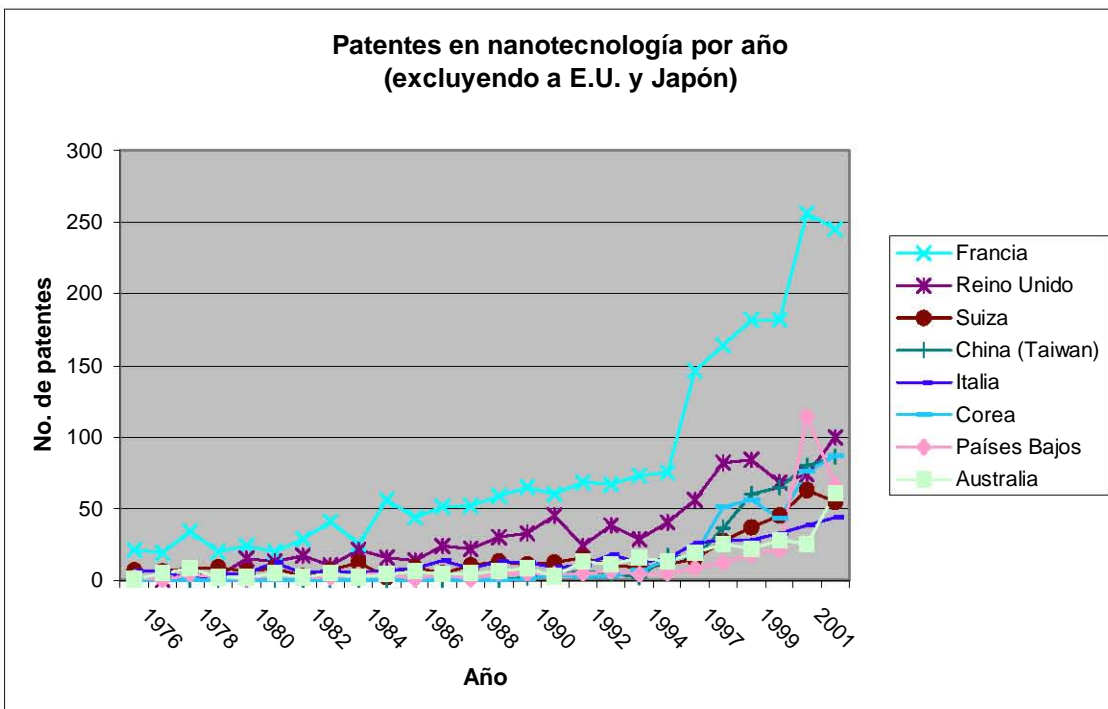
El número de patentes de las catorce naciones principales se muestra en las siguientes gráficas. De la gráfica III.2. podemos observar que los Estados Unidos, Francia, Japón, Reino Unido, Suiza, los Países Bajos e Italia empezaron a registrar patentes en nanotecnología en los años setentas. Corea y Taiwán siguieron sus pasos después, a principios de la década de los noventas. Debido a que la base de datos de la Oficina de Patentes de Estados Unidos solo provee acceso a las patentes registradas después de 1976, se debe tomar en cuenta que los datos no incluyen patentes anteriores.



Gráf

ica. III.2.

Excluyendo a los dos líderes, los países restantes se comportan de la siguiente manera:



Gráfica. III.3. Hasta 2002, Francia superaba al grupo de los 14 países líderes, sin incluir a los Estados Unidos y Japón

Agrupando los países, se tiene la siguiente distribución de patentes:

Análisis por grupos de países	
Grupo de países	Número de patentes
Estados Unidos	56,828
Japón	7,574
Comisión Europea	4,046
Otros (Corea, Taiwán, Canadá, etc.)	2,241

Tabla III.4.

Las inversiones gubernamentales en nanotecnología de cada uno de estos grupos de países (sin incluir en ningún caso lo que se destina al desarrollo de MEMS y otros microsistemas) fueron muy parecidas en 2003; aproximadamente 600 millones de dólares para Europa Occidental, 750 millones para el grupo de “otros”, 774 millones de los Estados Unidos y 810 millones en Japón.

Las veinte empresas que registraron el mayor número de patentes en nanotecnología se muestran en la tabla III.5. La norteamericana IBM esta situada en el primer lugar, seguida de Xerox, en la segunda posición. La edad promedio de las patentes revela diferencias en la antigüedad de las patentes de estas empresas. Así, podemos observar que las patentes emitidas por la Secretaría Naval de los Estados Unidos, General Electric, DuPont y Dow Chemical Company, tienen una edad promedio de 10 años, mientras que las patentes de Micron Technology, Lucent Technologies, la Universidad de California, Micro Devices y NEC son mucho más jóvenes; menos de cuatro años. El caso de Micron Technology es ilustrativo; tiene la cuarta posición en número de patentes con la edad promedio más baja, lo cual indica el fuerte potencial de la empresa en el campo tecnológico.

Análisis de beneficiarios (1976–2002)			
Categoría	Nombre del beneficiario	Número de patentes	Edad promedio de la patente (años)
1	International Business Machines Corporation	2092	6.6
2	Xerox Corporation	1039	7.1
3	Minnesota Mining and Manufacturing Company (3M)	809	6.9
4	Micron Technology, Inc.	781	1.9
5	Eastman Kodak Company	738	9.3
6	Motorola, Inc.	705	7.1
7	Texas Instruments Incorporated	694	6.9
8	NEC Corporation	608	3.7
9	The Regents of the University of California	540	3
11	E.U. representado por la Secretaria Naval	525	10
12	Canon Kabushiki Kaisha	505	5
13	Advanced Micro Devices, Inc.	502	3.3
14	General Electric Company	491	11
15	Hitachi, Ltd.	462	5.7
16	Hewlett-Packard Company	434	7.7
17	Kabushiki Kaisha Toshiba	412	4.6

18	E. I. DuPont de Nemours and Company	362	11
18	Lucent Technologies Inc.	341	2.8
19	Intel Corporation	341	4.6
20	The Dow Chemical Company	322	10

Tabla III.5. De nueva cuenta y respetando la fuente de información (Roco, et al), en esta tabla no aparece la categoría 10, mientras que la 18 está repetida.

Los campos tecnológicos en los que se han desarrollado estas patentes se detallan a continuación:

Campo	Número de patentes
Química; biología molecular y microbiología	7,946
Medicinas, composiciones de bio-efectos y tratamiento corporal (CCL-514)*	6,183
Medicinas, composiciones de bio-efectos y tratamiento corporal (CCL-424)*	4,683
Energía de radiación	4,657
Material de inventario y misceláneos	3,939
Dispositivos en estado sólido (p.e. transistores, diodos)	3,933
Manufactura de dispositivos semiconductores: procesos	3,877
Compuestos orgánicos, partes de clase 532–570 serie	3,756
Química: resinas naturales o derivadas de proteínas o peptid, ligninas o productos de reacción de ello	3,753
Óptica: sistemas (incluyendo comunicaciones) y elementos	3,404
Procesos de revestido	3,265
Química: pruebas analíticas e inmunológicas	3,027
Química de imágenes de radiación: procesos, composición, y productos de ello	2,983
Óptica: medición y pruebas	2,957
Almacenamiento y recuperación de información estadística	2,310
Dispositivos eléctricos no lineales varios, circuitos y sistemas	2,286
Química: energía eléctrica y de ondas	1,864
Aparatos químicos y procesos de desinfección, desodorización, preservación o esterilización	1,829
Generadores de luz coherente	1,775
Composiciones	1,680
Comunicaciones múltiplex	1,638

Tabla III.6. CCL-514 y CCL-424 son categorías, según la U.S. Patent&Trademark Office, que detallan el tipo de productos. Como puede verse, esto incrementa el número de patentes de medicinas a la suma de ambos renglones de la tabla.

Para resumir esta información, se muestra el siguiente análisis por industria, en el período de estudio. Podemos señalar que, de acuerdo con los datos⁵, la investigación relacionada con la nanociencia y nanotecnología es dominada por las industrias de los electrónicos y por el grupo de la química, farmacéutica y catalizadores. Desde 1997 se ha observado un significativo crecimiento del número de patentes en la industria química.

Análisis por industria (1976-2002)	
Industria	Número de patentes
Química, catalizadores, farmacéutica	18,784
Electrónica	16,704
Materiales	4,860
Otros	41,352

Tabla III. 7.

Los datos hasta 2002 mostraban a China en la sexta posición. No obstante, y de acuerdo con el reporte Thomas Derwent 2003⁶ en patentes de nanociencia y nanotecnología de 2000-2002, China está en tercer lugar (con el 12% de las patentes mundiales) siguiendo a los Estados Unidos (32%) y a Japón (21%). El caso de China se estudiará en un apartado especialmente dedicado al tema.

III.3 Iniciativas nacionales

III.3.1 Inversiones mundiales

Más de 30 países han adoptado proyectos o programas en nanotecnología, en parte estimuladas por la iniciativa norteamericana; la National Nanotechnology Initiative (según M. Roco, 2002). De acuerdo con los datos del Tercer Informe Europeo de Indicadores en Ciencia y Tecnología de 2003, el presupuesto dedicado a la nanotecnología a nivel mundial se ha comportado como se muestra en la tabla III.8. Los datos incluidos en el informe abarcan el periodo de 1997 a 2000, siendo 1997 precisamente el año en el que, como se ha visto en el apartado anterior, el resto del mundo comienza a registrar patentes de tecnologías a la nanoescala.

Ahora, las iniciativas y estrategias adoptadas por cada nación tienen características en común, y otras que están de acuerdo con la realidad y las necesidades de cada país. Nuestro objetivo es presentar un panorama general de las acciones, los planes y los programas (vigentes o en desarrollo) que se están llevando a cabo en el ámbito internacional. Cabe aclarar también que los datos aquí mostrados no incluyen la tendencia de los últimos cinco años (2000-2005) y

⁵ Mihail C. Roco et al “*Longitudinal Patent Analysis for Nanoscale Science and Engineering: Country, Institution and Technology Field*”, Journal of Nanoparticle Research, Kluwer Acad. Publ., 2003, Vol. 5, Issue 3-4

⁶ Según la APNW, <http://www.nanoworld.jp>

no existen fuentes más confiables con datos actualizados. A esto se debe sumar el hecho de que la inversión pública y privada en esta área crece a pasos agigantados y veloces. Por esta razón, analizaremos las características específicas de cada nación, en cada apartado.

Estimación de la inversión pública en nanociencia y nanotecnología				
(en millones de euros)				
País	1997	1998	1999	2000
Bélgica	0.9	1	1.1	1.2
Dinamarca	3	1.9	2	2
Alemania	47	49	58	63
Grecia	0.2	0.2	0.3	0.4
España	0.3	0.3	0.4	0.4
Francia	10	12	18	19
Irlanda	0.4	0.4	0.5	3.5
Italia	1.7	2.6	4.4	6.3
Países Bajos	4.3	4.7	6.2	6.9
Austria	1.9	2	2.2	2.5
Portugal	0.2	0.2	0.3	0.4
Finlandia	2.5	4.1	3.7	4.6
Suecia	2.2	3.4	5.6	5.8
Reino Unido	32	32	35	39
Comisión Europea	23	26	27	29
Total UE-15	129.6	139.8	164.7	184
EE UU	116	190	255	270
Japón	106	135.3	156.5	175

Tabla III.8. Fuente: Tercer informe europeo de indicadores en ciencia y tecnología, 2003 ⁷La estimación se ha logrado calculando todos los proyectos y programas de investigación nanotecnológica, así como el soporte institucional en cada país. La falta de información y algunas diferencias en la definición de nanotecnología pueden hacer que las cifras reales oscilen un 10% (al alza o a la baja) respecto a las cifras proporcionadas.

⁷ Fuente: De la excelencia científica al negocio innovador: la posición de Europa en la transición nanotecnológica; http://europa.eu.int/comm/research/press/2003/pdf/indicators2003/5-nanotech_es.pdf

III.3.2 Planes Nacionales

El mundo ha aceptado y asimilado los cambios que se vislumbran en un futuro próximo, muchos de estos como consecuencia del desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología. Así, los países de primer mundo – y aquellos que aspiran o están en vías de serlo – han hecho inversiones trascendentales en aras de obtener los máximos beneficios de esta nueva tecnología; la prueba está en el número de planes y programas de carácter nacional que se han adoptado o que están en desarrollo. Por ejemplo; Estados Unidos, al igual que Japón, cuenta con un extensivo plan financiado desde los sectores industriales y gubernamental.

En países como Corea, Singapur, o Taiwán, las iniciativas nacionales tienen una base industrial, lideradas por las grandes empresas, especialmente en el campo de la electrónica. La empresa Samsung, por ejemplo, cuenta con una fuerza de trabajo de más de 500 personas, trabajando en desarrollos nanotecnológicos en un centro de investigación.

Europa, por su parte, ha tomado conciencia de que el desarrollo de la nanotecnología es la clave para el futuro desarrollo de sus países, por lo que se han establecido planes de acción regionales. La Unión Europea lanzó la iniciativa NID (Nanotechnology Information Devices), dentro del plan IST (Information Society Technologies), para fomentar la creación de consorcios, como respuesta a los avances hechos por los Estados Unidos y Japón. La Comisión Europea ha auspiciado diversas redes de excelencia vinculadas a la nanotecnología (Phantoms, Nanoindex, Nanoforum, etc.) que están siendo coordinadas por España. Por su parte, Alemania, a través del Ministerio de Investigación y Tecnología (MBFT), ha establecido desde 1998 seis centros nacionales de competencia en Nanotecnología. Las características de estos programas, y mayor información de lo realizado en otras partes del mundo, se detallarán más adelante. El siguiente esquema muestra la cronología de la creación de planes nacionales alrededor del mundo:

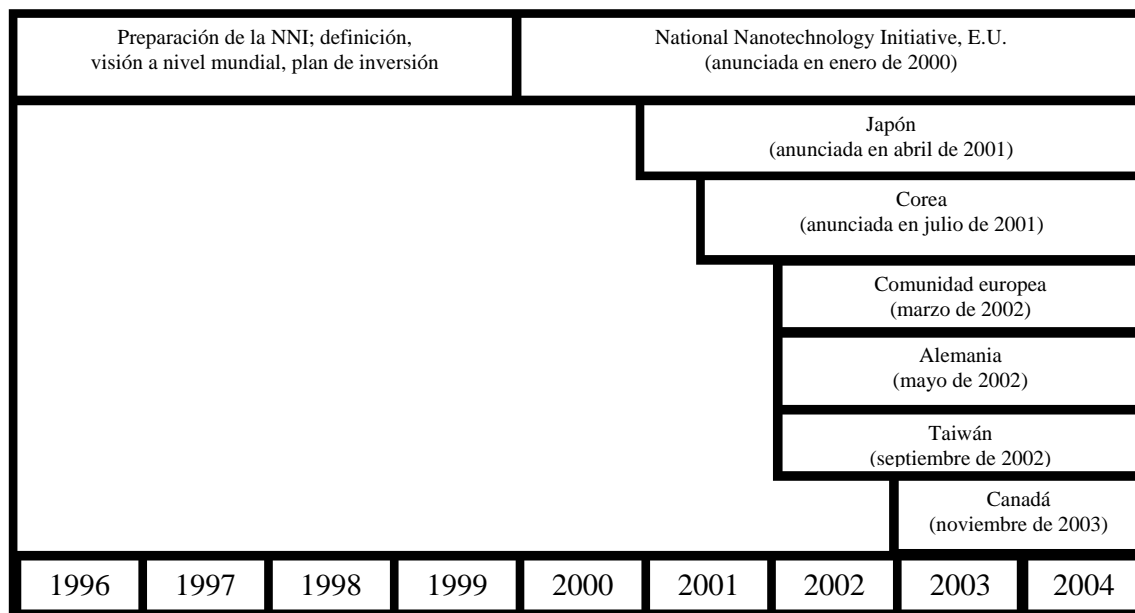


Fig. III.1 Iniciativas internacionales

III. 4 Estados Unidos

III.4.1 National Nanotechnology Initiative

En enero de 2000, el entonces presidente de los Estados Unidos, Bill Clinton, anunció la creación de la National Nanotechnology Initiative (NNI), un programa de carácter nacional que coordinaría la investigación y desarrollo a la nanoescala en los Estados Unidos. Desde ese entonces, el gobierno estadounidense identificó la potencial contribución de la nanotecnología al crecimiento económico. Por esta razón, la nanotecnología es una prioridad para la administración del presidente norteamericano, George W. Bush⁸. Cabe señalar que la National Nanotechnology Initiative tiene una estructura organizada estratégicamente, con visión a largo plazo, y que muchos países han seguido los pasos de la misma en la construcción de sus propios planes nacionales.

La visión de la iniciativa norteamericana

Los grandes desafíos en los que se está enfocando la investigación y desarrollo de la iniciativa norteamericana están relacionados directamente con aplicaciones de la nanotecnología y son aquellos en los que se ha identificado un mayor potencial económico e impacto social.

Los nueve grandes desafíos de la NNI son los siguientes:

1. Diseño de materiales nanoestructurados.

⁸ <http://www.nano.gov>

2. Manufactura a la escala nanométrica.
3. Detección y protección química, biológica, radiológica, y explosiva.
4. Instrumentación y metrología a la nanoescala.
5. Electrónica, opto electrónica, magnetismo a la nanoescala.
6. Cuidado de la salud, terapéutica y diagnosis.
7. Conversión y almacenamiento de energía eficiente.
8. Microaviación y robótica (Microcraft)
9. Procesos a la nanoescala para mejoramiento del ambiente.

El financiamiento estadounidense para la investigación y desarrollo en nanotecnología se ha incrementado de \$116 millones en 1997 a un estimado de \$1,081 millones en 2005. La propuesta que el presidente Bush envió al Congreso norteamericano es aumentar el presupuesto para la NNI hasta \$1,054 millones de dólares para 2006, lo que representa un incremento del 2.5 por ciento con respecto a 2005. Si el análisis se realiza tomando en cuenta el primer año de la iniciativa, el lector podrá notar que la inversión se ha duplicado.

	2001 Actual	2005 Estimado	2006 Solicitado	Diferencia entre 2001 y 2006	Porcentaje de cambio entre 2001 y 2006 (%)
Fundación Nacional de Ciencia (NSF)	150	338	344	194	129
Defensa	125	257	230	105	84
Energía	88	210	207	119	135
Servicios de Salud y Humanos*	40	145	147	107	268
Comercio (NIST)**	33	75	75	42	127
NASA	22	45	35	13	59
Agricultura	0	3	8	8	N/A
Agencia de Protección Ambiental (EPA)	5	5	5	0	0
Justicia	1	2	2	1	100
Seguridad Nacional	0	1	1	1	N/A
TOTAL	464	1081	1054	590	127

Tabla III.9. Presupuesto autorizado para la NNI, en millones de dólares⁹. * Incluye a la NIH (National Institutes of Health) y NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). **NIST: National Institute of Standards and Technology.

Los proyectos de la NNI son financiados por las agencias y departamentos federales que participan en la iniciativa norteamericana.

Alrededor del 65 por ciento del financiamiento de la NNI respalda la investigación académica, pero una parte importante promueve asociaciones entre investigadores y empresas privadas con el propósito de apalancar la inversión pública. Para este fin, la NNI financia más de 100 centros y redes de excelencia en

⁹ Fuente: <http://www.ostp.gov/html/budget/2006/One-Pagers/FY06NationalNanotechnologyInitiative1-pager.pdf>

nanociencia y nanotecnología, agrupados de acuerdo a la dependencia o agencia que coordina sus esfuerzos, entre los que se cuentan;

- a) La NASA (National Aeronautics and Space Administration) está enfocando sus esfuerzos en construir naves autónomas y pensantes, lograr una aviación segura y confortable, continuar la exploración y colonización humana del espacio, y profundizar el conocimiento de la evolución del universo y de la vida, según consta en su página de internet. En este sentido, se piensa que la contribución de la nanotecnología al cumplimiento de estos objetivos está dada en las siguientes áreas:
- Electrónica y computación a la nanoescala
 - Computación Petaflop¹⁰ (Un petaflop equivale a un cuatrillón de operaciones por segundo).
 - Almacenamiento de ultra alta densidad (1,015 bytes/cm²)
 - Sensores
 - Sensor Web (Es un circuito independiente de sensores inalámbricos e intercomunicados, que despliegan a un monitor y exploran un rango ilimitado de ambientes. este instrumento puede ser ajustado a cualquier condición a la que se envíe¹¹)
 - Colonias de robots
 - Integración de computación, memoria, detección y comunicación.
 - Materiales Estructurales.
 - Microaviación espacial
 - Materiales multifuncionales y autoreparantes.

La NASA delega la investigación en nanociencia en las siguientes universidades:

- I. Universidad de California, en Los Angeles, a través del Institute for Cell Mimetic Space Exploration
- II. Universidad de Texas A&M, en el Instituto de Bio-nanomateriales Inteligentes y Estructuras para Vehículos Espaciales (Institute for Intelligent Bio-Nanomaterials & Structures for Aerospace Vehicles).
- III. La Universidad Princeton está haciendo investigaciones en inspección biológica, diseño y procesamiento de nanocompuestos multifuncionales.
- IV. El Instituto de Nanoelectrónicos y Computación de la Universidad Purdue, en West Lafayette, Indiana, trabaja en colaboración con la NASA en cuatro ejes fundamentales:

¹⁰ “Es un sistema de un millón de procesadores corriendo al mismo tiempo. Se usa para simular el doblamiento de proteínas a nivel molecular. Básicamente es un dispositivo descomunal, con un millón de procesadores en paralelo, para resolver este problema particular de genética”. (Alex Morrow, IBM's TJ Watson Research Center en Yorktown Heights, New York, en entrevista con Rick Lehrbaum)

¹¹ <http://sensorwebs.jpl.nasa.gov>

- Memorias de Ultradensidad.
- Dispositivos de ultradesempeño.
- Dispositivos integrados de detección y senseo.
- Sistemas Adaptables

b) La National Science Foundation ha conformado una red de universidades y centros que trabajan de manera coordinada.

- Hay seis Centros de Ciencia e Ingeniería a la Nanoescala (NSEC, por sus siglas en inglés) consolidados en septiembre de 2004, a saber;

<i>Nombre del Instituto</i>	<i>Nombre propuesto</i>	<i>Financiamiento de la NSF (dólares)</i>	<i>Participantes</i>
Universidad de California, Berkeley	Centro de Sistemas Nanomecánicos Integrados	\$2,310,000 (año 1) \$11,910,000 (total)	Cal Tech, U.C. Merced, Stanford
Universidad del Noreste	Centro de Nanomanufactura de alta velocidad	\$2,576,000 (año 1) \$12,376,000 (total)	U. Mass Lowell, U. New Hampshire
Universidad del Estado de Ohio	Centro para nanoingeniería de dispositivos biomédicos de polímero (CANPBD)	\$2,631,000 (año 1) \$12,923,000 (total)	Boston U., Florida A&M, Purdue, Akron, U.C. Berkeley
Universidad de Pennsylvania	NSEC* para funciones moleculares en la interface bio-nano	\$2,326,000 (año 1) \$11,426,000 (total)	Drexel, Franklin Institute, U. Dresden
Universidad Stanford	Centro para hacer pruebas a la nanoescala	\$1,524,709 (año 1) \$7,459,709 (total)	IBM
Universidad de Wisconsin-Madison	NSEC*: Síntesis y Ensamble a la Nanoescala	\$2,825,000 (año 1) \$13,365,000 (total)	Cornell, Harvard, NRL, LLNL, ONL

Tabla III.10. Seis nuevos centros, fundados en 2004, bajo el auspicio de la NSF¹² *Las siglas de Nanoscale Science and Engineering Centers (Centros de Ciencia e Ingeniería a la Nanoescala)

- Existen dos Centros de Ciencia e Ingeniería a la Nanoescala para la nanomanufactura, fundados en septiembre de 2003, con presupuesto para el primer año y proyectado a cinco años. Nótese que el Centro de la Universidad de Carolina en Los Angeles alberga a otras cuatro universidades importantes (Berkeley, Stanford, San Diego y Charlotte) y

¹² Toda la información sobre la National Science Foundation está en <http://www.nsf.gov>

tiene proyectado un presupuesto mayor, con diversos tópicos en electrónica.

Nombre de la Institución	Participantes	Centro	Tópicos	Financiamiento (primer año)	Financiamiento (año 5)
Universidad de California, Los Angeles	Universidad de California Berkeley, Universidad Stanford, Universidad de California San Diego, Universidad del Norte de Carolina en Charlotte	Centro de Nanomanufactura Integrada y Escalable (SINAM)	Litografía, nanoimpresión, ultra-modelado e impresión, nanoensamble, ingeniería, mecanizado y medición de precisión a la nanoescala, plataforma de nano-CAD, herramientas para clusters, biosensores nanofotónicos, bancos de pruebas	\$2,827,493	\$17,658,208
Universidad de Illinois en Urbana-Champaign	Universidad Técnica y Agrícola del Norte de Carolina, Instituto de Tecnología de California	Manufactura de Sistemas Químico-Eléctrico-Mecánicos a la Nanoescala (Nano CEMMS)	Arreglos de puertas moleculares, herramientas controladas electrónicamente, flujos electrokinéticos ¹³ , posicionamiento y sensores, optoelectrónica orgánica a la nanoescala, arreglos químicos y biológicos	\$2,516,749	\$12,530,745

Tabla III.11. Centros de Ciencia e Ingeniería a la Nanoescala

- o Seis centros establecidos en septiembre de 2001;

Institución	Participantes	Nombre	Tópicos	Financiamiento primer año (millones de dólares)	Financiamiento año cinco (millones de dólares)
Universidad del Noroeste	Argonne National Lab; Harold Washington College; U. Illinois, Urbana-Champaign; U. Chicago; Chicago Museum of Science and Industry; Lawrence Livermore;	NSEC: Nanomodelado integrado y tecnologías de detección	reconocimiento químico-biológico, polímeros, métodos de detección de ADN, ensamble directo en superficie, sensores	2.39	11.59

¹³ Electrokinético: Propiedades relativas a la electricidad y movimiento o a la generación de electricidad a partir del movimiento.

<i>Institución</i>	<i>Participantes</i>	<i>Nombre</i>	<i>Tópicos</i>	<i>Financiamiento primer año (millones de dólares)</i>	<i>Financiamiento año cinco (millones de dólares)</i>
	NASA; Dupont; Exxon Mobil; Rohm and Hass; Motorola; IBM; Unilever				
Universidad Cornell	Brigham Young U.; Colgate U.; U. New Mexico; Pomona College	NSEC: Sistemas a la nanoescala en tecnologías de información	Nanoelectrónicos, optoelectrónicos, magnetismo	2.368	10.798
Universidad Harvard	MIT; Princeton; UC Santa Barbara; Boston Museum of Science; Brookhaven National Lab; Oak Ridge National Lab; Sandia National Lab; Delft U., The Netherlands; U. Tokyo	NSEC: Sistemas en ciencia a la nanoescala y sus aplicaciones en dispositivos	pruebas de exploración, electrónicos coherentes, heteroestructuras	2.245	10.845
Columbia Universidad	Barnard College; CUNY City College; Rowan U.; Lucent; IBM	NSEC: Transporte electrónico en nanoestructuras moleculares	transporte de carga en moléculas, interfaces de nanotubos de carbono, ensamble	2.108	10.54
Universidad William Marsh Rice	Oak Ridge National Lab; TDA Research Inc.; Geosciences Environmental Lab, France	NSEC: Nanociencia en ingeniería biológica y ambiental	fulerenos, nanomateriales en caldas, bioingeniería, aplicaciones ambientales	2	10
Instituto Politécnico Rensselaer	U. Illinois, Urbana-Champaign; Los Alamos National Lab; Colleges: Morehouse, Mount Holyoke, Smith, Spelman, Williams; Industry: ABB, Albany International, IBM, Eastman Kodak, Philip Morris; State of New York	NSEC: Ensamble directo de nanoestructuras	nanocompuestos en gel y polímeros, materiales biomoleculares nanoestructurados; teoría		
Total:				13.414	64.875

Tabla III.12.

- La National Nanotechnology Infrastructure Network¹⁴ (NNIN); es una red de trabajo integrada por asociaciones para usar instalaciones, patrocinada por la National Science Foundation, para el desarrollo de la ciencia, ingeniería y tecnología a la escala nanométrica. La NNIN provee a los usuarios de la academia, la pequeña y gran industria y del gobierno de libre acceso, en línea y vía remota a las herramientas más modernas, instrumentación, y capacidades de fabricación, síntesis, caracterización, diseño, simulación e integración, para facilitar sus

¹⁴ Fuente: <http://www.nnin.org>

proyectos de investigación individuales. La NNIN también lleva a cabo actividades de educación, capacitación y otras.

- La National Nanofabrication Users Network¹⁵ (NNUN) provee de acceso a varias de las más sofisticadas tecnologías de nanofabricación en el mundo, con instalaciones abiertas a todos los usuarios de la academia, del gobierno y de la industria. Con la asistencia del personal de la NNUN, los usuarios pueden fabricar nanoestructuras avanzadas a tan solo algunas semanas después del primer contacto. La NNUN también provee de ayuda a la comunidad a través del Programa de Experiencia Experimental para universitarios y de talleres de capacitación.
- La Network for Computational Nanotechnology (NCN) tiene como misión unir la teoría, la experimentación y la computación en el desarrollo de la nanotecnología. Los científicos de esta red desarrollan nuevos algoritmos, aproximaciones y herramientas de software con capacidades no disponibles en el mercado. Como parte de la infraestructura de la National Science Foundation para la National Nanotechnology Initiative, la red lleva a cabo talleres de trabajo y seminarios entre otras actividades. El nanoHUB¹⁶ es una fuente de información en línea, que provee de acceso a software para usuarios de todo el mundo.
- El Nanobiotechnology Center (NBTC), está caracterizado por su naturaleza interdisciplinaria y por fomentar una estrecha colaboración entre científicos de la vida, físicos e ingenieros. El NBTC tiene las siguientes áreas de investigación:
 - Análisis de dispositivos biomoleculares.
 - Dinámica biomolecular.
 - Microdinámica celular.
 - Interacciones en superficie celular.
 - Materiales a la nanoescala.
 - Biología celular a la nanoescala.
- Albany NanoTech es un arreglo de centros de investigación y de instalaciones compartidas, así como un portafolio estratégico de recursos de educación, investigación, desarrollo y manufactura piloto, ubicado en la Universidad de Albany, en New York. El primer centro, el Center for Advanced Thin Film Technology fue establecido en 1993, con el objetivo de proveer a los asociados de las empresas un ambiente único para ser pioneros, desarrollar y probar nuevas ideas en condiciones de competitividad tecnológica y de investigación.

¹⁵ <http://www.nnun.org/>

¹⁶ El lector podrá hallar programas de simulación, si accesa a <http://nanohub.org/>

Albany NanoTech trabaja con más de 100 compañías localizadas alrededor del mundo proveyendo de desarrollo tecnológico y de soporte para la comercialización de proyectos en desarrollo. Estos participantes representan la cadena de suministro de muchas compañías en la industria de semiconductores, incluyendo a los fabricantes de dispositivos avanzados, proveedores de equipo básico, proveedores de componentes y proveedores de materiales o sustancias químicas. De esta forma, el centro ha desarrollado una buena reputación en la industria como un ambiente ideal para desarrollar soluciones integrales usando tecnologías patentadas (proprietary technologies) mientras se crean alianzas estratégicas para beneficiar a todos los participantes. Albany NanoTech es capaz de acelerar la comercialización de tecnologías, proveyendo una fuente única de desplegamiento tecnológico, desarrollo de mercado y asistencia en negocios.

El complejo Albany NanoTech está valuado en más de \$125 millones de dólares y superará los \$500 millones dentro de dos años. Tiene 228,000 pies cuadrados e instalaciones clase 1 en el mundo. En sus instalaciones se desarrollan productos comenzando con la formulación de conceptos científicos de frontera e innovaciones tecnológicas, seguido de la implementación de programas de investigación y desarrollo de mediano plazo; luego se llevan a cabo programas piloto a corto plazo de inserción tecnológica, integración de bancos de pruebas con asistencia para la introducción al mercado y desarrollo de mano de obra.

- La Universidad de California en Los Angeles y la de Santa Barbara se unieron para construir el California NanoSystems Institute¹⁷ (CNSI), el cual posibilitará una metodología multidisciplinaria para desarrollar tecnologías de información, biomédicas y de manufactura que serán preponderantes en el siglo XXI.

De acuerdo con la información de la página del CNSI, California está bien posicionada para liderar al mundo y convertirse en la cuna de desarrollo de nanosistemas, porque tiene los recursos humanos, tecnológicos, la experiencia y la infraestructura educativa requeridos para tal cometido. California no es el único estado de la Unión Americana que dirige el desarrollo en manejo de información, pero sus universidades son líderes en el entendimiento y control de materiales biológicos, tales como las proteínas y el ADN.

El CNSI tiene los siguientes objetivos:

- Establecer un centro de investigación y desarrollo de nanosistemas de renombre mundial.

¹⁷ <http://www.cnsi.ucla.edu/>

- Desarrollar aplicaciones comerciales de la tecnología generada en el CNSI.
 - Capacitar a la siguiente generación de estudiosos en investigación y desarrollo de nanosistemas.
 - Promover el desarrollo regional a través del uso comercial de la nanotecnología.
 - Generar el reconocimiento público y el entendimiento de la nanotecnología.
- La Universidad de Purdue es la cuna del Birck Nanotechnology Center, el cual posee cuartos limpios de 25,000 pies cuadrados, que tienen sistemas especiales de filtración para mantener el aire libre de partículas indeseables. Además, el Birck Nanotechnology Center ¹⁸ posee laboratorios con sistemas de absorción de vibraciones y con muros aislantes, lo cual resulta fundamental en el estudio e investigación a la nanoescala, porque permite a los investigadores trabajar en condiciones de estabilidad y temperatura óptimas ¹⁹. Este centro fue inaugurado el 8 de octubre de 2005, está considerado como uno de los mejores centros de su tipo.

En la Universidad de Purdue, las líneas de investigación más importantes, en el campo de la nanotecnología, son los nanomateriales, nanodispositivos, las interfaces entre la nanotecnología y la biotecnología, la nanomanufactura, la nanotecnología computacional y la caracterización y metrología a la nanoescala.

- El NanoCentro de la Universidad del Sur de Carolina (USC NanoCenter²⁰) es el punto focal para los estudios en ciencia e ingeniería de estructuras a la escala nanométrica, de sus propiedades únicas, y de su integración en unidades funcionales. Este centro impulsa la investigación multidisciplinaria y los esfuerzos educativos involucrando habilidades, las cuales, combinadas con experiencia, extienden las disciplinas de una extensiva investigación universitaria, incluyendo artes, ciencias, ingeniería y medicina, alcanzando también a otras escuelas profesionales. El NanoCenter apadrina las actividades de muchos equipos de investigación enfocados en la ciencia e ingeniería a la nanoescala, a través de financiamiento, instrumentación, apoyo para colaboraciones y posibilidad de alquilar servicios de staff. El USC NanoCenter provee de oportunidades de aprender alta tecnología para estudiantes universitarios, egresados, y a personas ajenas a la universidad mediante cursos y programas de investigación. El NanoCenter fortalece a la comunidad tecnológica y estimula la

¹⁸ <http://web.e-enterprise.purdue.edu/wps/portal/Nanotechnology>

¹⁹ http://www.purdueexponent.org/index.php/module/Issue/action/Article/article_id/1242

²⁰ <http://www.nano.sc.edu/>

aplicación de la nanotecnología para promover el desarrollo económico del Sur de Carolina.

La misión del NanoCenter es:

- Crear un punto focal en el Sur de Carolina para la investigación en ciencia y tecnología a la escala nanométrica.
 - Generar nuevas oportunidades para los participantes del centro para competir por financiamiento externo de fuentes federales o de la industria.
 - Propiciar colaboración transversal entre la masa crítica de científicos abarcando las ciencias, la ingeniería y la medicina.
 - Proveer oportunidades de aprendizaje a través de cursos y experiencias de investigación para estudiantes y egresados.
 - Promover el alcance educativo y técnico entre los colaboradores de instituciones hermanas (Clemson, MUSC, HBCUs), campus regionales y escuelas de enseñanza obligatoria.
 - Hacer progresar la discusión acerca del ambiente, de las implicaciones sociales, filosóficas y éticas generadas por la nanociencia.
- La National Science Foundation otorgó a la Universidad del Noreste y a sus asociados, la Universidad de Massachusetts Lowell y la Universidad de New Hampshire, una concesión de \$12.4 millones de dólares para el Center for High-rate Nanomanufacturing, un centro de ciencia e ingeniería a la nanoescala.

El Nanomanufacturing Research Institute²¹ de la Universidad del Noreste fue establecido en 2001 para iniciar un programa de investigación en manufactura a la nanoescala. Este instituto surgió como el nuevo centro de nanomanufactura de la National Science Foundation.

- La Universidad de Notre Dame alberga al Center for Nano Science and Technology²². Este centro integra seis investigaciones clave en nanoestructuras basadas en moléculas, nanoestructuras basadas en semiconductores, modelado y conceptualización de dispositivos, caracterización de nanofabricación, procesamiento de imagen y de información, y diseño de sistemas funcionales para cumplir metas comunes. Las seis investigaciones clave (thrusts) comprenden una mezcla multidisciplinaria de investigadores de los departamentos de ingeniería eléctrica, ciencia e ingeniería en cómputo, química y bioquímica, física e ingeniería química y biomolecular.

²¹ <http://www.nano.neu.edu/>

²² <http://www.nd.edu/>

El centro tiene instalaciones que incluyen microscopios de nanolitografía y de efecto tunel, fabricación de circuitos y nanodispositivos, caracterización nano-óptica incluyendo microscopios ópticos de femtosegundos y de campo cercano (femtosecond optics and near-field scanning optical microscopy); caracterización eléctrica a la temperatura del helio en campos magnéticos de diez teslas, análisis de circuitos de alta velocidad a 50 giga hertz, y modelado y simulación de dispositivos y circuitos.

El centro está especializado en una gran variedad de iniciativas de investigación en nanociencia y electrónicos, tales como el trabajo que se esta desarrollando con autómatas y arquitecturas celulares cuánticas, dispositivos y circuitos de resonancia de túnel, circuitos óptico electrónicos integrados, transporte cuántico y sus efectos en nanodispositivos, etc.

- c) El Departamento de Defensa norteamericano posee dos centros de nanociencia:
- El Instituto de Tecnología de Massachusetts; Instituto para Nanotecnologías de Guerra (Soldier nanotechnologies).
El University Center for Nanoscience Innovation for Defense (CNID) de la Universidad de California en Santa Barbara; este centro fue creado para promover una rápida transición de las innovaciones en el campo de la nanociencia a aplicaciones en el sector de defensa. El CNID está subsidiado por dos agencias federales: la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada en Defensa y la de Actividades de Microelectrónicos de Defensa. Otros participantes incluyen a laboratorios nacionales (incluyendo Los Alamos) y diez participantes de la industria.
 - El Naval Research Laboratory (NRL) abrió el Nuevo Laboratorio de Investigación en Nanociencia el 22 de octubre de 2003. Sus instalaciones ofrecen a los científicos la oportunidad de conducir la investigación multidisciplinaria en los campos de materiales, electrónicos y biología en el dominio de la escala nanométrica. El edificio costó 12.7 millones de dólares²³.

Para el gobierno estadounidense, la colaboración entre los investigadores patrocinados por el gobierno y la industria privada es clave para la transferencia y la comercialización de la nanotecnología²⁴.

²³ http://www.news.navy.mil/search/display.asp?story_id=10205

²⁴ De acuerdo con www.nano.gov

Iniciativas estatales

Los gobiernos de diversos estados de la Unión Americana han lanzado sus propias iniciativas, con miras a obtener los beneficios de la nanotecnología. Comentaremos el esfuerzo realizado por Virginia y Texas; del primero, ofreceremos la información relativa a los pasos que se siguieron para armar su iniciativa, y del segundo, revisaremos las características de las actividades que se están llevando a cabo en este estado, las cuales gozan de un fuerte soporte universitario y empresarial.

La inversión estimada en nanotecnología, hecha por algunos estados de la Unión Americana, se muestra en la siguiente tabla:

Estados invirtiendo en nanotecnología

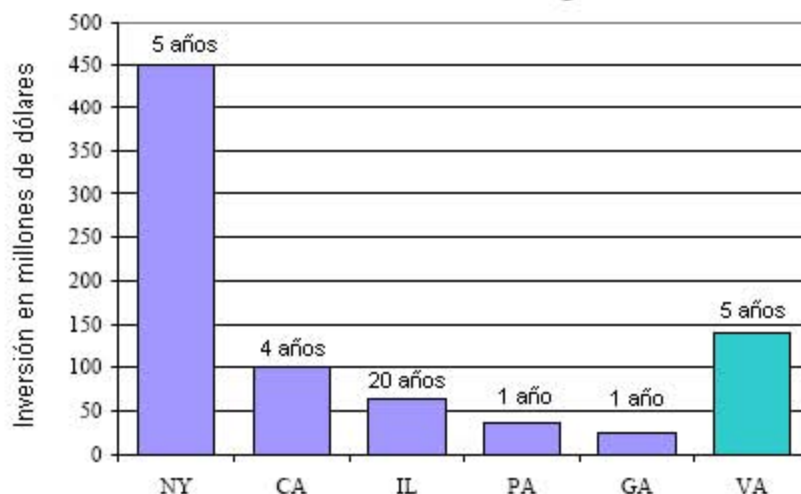


Fig. III.2.²⁵ NY son las siglas para New York, de la misma manera que CA es California, IL es Illinois, PA es Pensilvania, GA es Georgia y VA significa Virginia

Estado	Instituto	Descripción	Compromiso	Modelo de la iniciativa
California	California Nanosystems Institute	Edificio con infraestructura	100 millones de dólares en 4 años	Metropolitana-estado
New York	Nanoelectronics Center, Albany	Edificio e infraestructura para investigación	50 millones iniciales y 400 millones en 5 años	Colaboración entre universidades y el estado
Illinois	Centros de Nanociencia (NU, U, IL, ANL)	Edificio e infraestructura para investigación	63 millones	socios metropolitanos y regionales (ATOMWORKS)

²⁵ Draft Proposal to Establish the Virginia NanoManufacturing Initiative, The Virginia Research and Technology Advisory Commission, Virginia's Center for Innovative Technology and The Initiative for nanotechnology In Virginia, September 30, 2003

Pensilvania	Varios centros de nanotecnología		37 millones	BFTP&PennState NMT
Georgia	Centro en Georgia Tech	Edificio e infraestructura para investigación	25 millones	
Indiana	Centro de nanotecnología en Purdue	Edificio con infraestructura	5 millones	
Texas	Varios centros de nanotecnología		Medio millón en 2 años	Capital de riesgo
Carolina del Sur	NanoCenter	Edificio con infraestructura	un millón	
Virginia	Varios institutos	Infraestructura para investigación	3.5 millones para matching (CIT, CTRF)	Colaboración entre universidades y el estado
Arizona	Nano-bio research Center	Infraestructura para investigación	5 millones por 20 años	Colaboración entre universidades y el estado
New Mexico	Consortio con la Universidad de NM			
New Jersey	Apoyo al NJIT y consorcio en optoelectrónica			
Florida	Centro en la U. del sur de Florida			
Oklahoma	Nano-net	EPSCoR	3 millones al año por 5 años	Colaboración entre universidades y región

Tabla III.13.

Virginia NanoManufacturing Initiative²⁶

Bajo el nombre de INANOVA, la iniciativa del estado de Virginia surge como respuesta a la información señalada por la National Nanotechnology Initiative; de los empleos que se presume serán generados por la nanotecnología (entre 800,000 y 900,000) y las áreas relacionadas, 50,000 podrían estar destinados al estado de Virginia. Si a esto se añade el mercado mundial estimado para 2015 de

²⁶ Draft Proposal to Establish the Virginia NanoManufacturing Initiative, The Virginia Research and Technology Advisory Commission, Virginia's Center for Innovate Technology and The Initiative for nanotechnology In Virginia, September 30, 2003

un trillón de dólares, la iniciativa del Virginia pretende responder a la situación que se avecina.

Se detectaron los siguientes puntos clave, como detonadores de INANOVA:

- 1) la necesidad de producir nanomateriales en volúmenes suficientes y a precios accesibles. Actualmente, el kilogramo de nanotubo de carbono de alta pureza se estima en USD \$80,000, mientras que los Buckyballs están entre USD \$25,000 y USD \$30,000 por kilogramo. Para una mayor referencia, podemos decir que el kilogramo de oro en el mismo periodo se estimó en USD\$10,000 por kilogramo.
- 2) La necesidad de desarrollar una fuerza de trabajo entrenada para la nanomanufactura

De esta manera, la comisión para el desarrollo tecnológico de Virginia señaló las siguientes razones para sustentar su argumentación a favor de la creación de la iniciativa estatal:

- La nanotecnología ofrece la producción más eficiente a grandes volúmenes, por lo que es la llave de la próxima revolución tecnológica.
- Ningún otro centro de Investigación y desarrollo (en el estado) está enfocado en esta misión
- Los científicos de Virginia tienen experiencia en aquellas áreas en las que es más probable que se den las mayores innovaciones.
- El estado de Virginia es la casa de las agencias de gobierno y de las industrias que se verán beneficiados por los avances de la nanotecnología.

Con esta base, se desarrollo la propuesta, que presentamos a continuación²⁷:

Propósito: Crear la Iniciativa de Nanomanufactura en Virginia (VNI)

Misión: Alcanzar una posición líder en la manufactura de nanomateriales a un costo asequible²⁸.

Metas en cuanto a:

- 1) Investigación; financiar colaboraciones en investigación interdisciplinaria y multi-institucional con la industria, enfocándose en técnicas para aumentar la producción de nanomateriales.
- 2) Instrumentación; Apoyar y fortalecer la infraestructura de investigación para que sea accesible para los investigadores de toda la nación.

²⁷ Draft Proposal to Establish the Virginia NanoManufacturing Initiative, The Virginia Research and Technology Advisory Commission, Virginia's Center for Innovate Technology and The Initiative for nanotechnology In Virginia, September 30, 2003

²⁸ La fuente de está información presenta la misión definida de esta forma, aunque, en nuestra opinión, esta sería su visión.

- 3) Desarrollo de fuerza de trabajo; Establecer un programa de desarrollo de la fuerza de trabajo a nivel estatal trazado con los recursos combinados del sistema de educación básica de Virginia, la comunidad universitaria y los sistemas de educación avanzada.

Para la gente de INANOVA, la nanomanufactura es la llave de la revolución nanotecnológica.²⁹

El eslabón perdido entre la investigación y las aplicaciones:

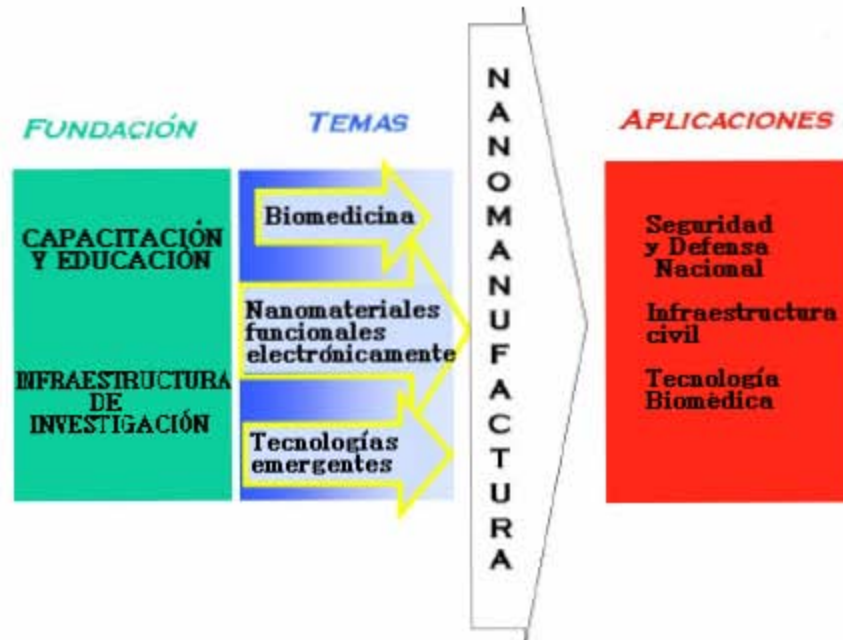


Fig. III. 3. Esquema que muestra a la Nanomanufactura como clave para la revolución tecnológica, según la presentación hecha en septiembre de 2003, en Virginia

La estructura de la VNI³⁰, la cual se muestra abajo, representa un esfuerzo tripartita entre las entidades de gobierno relacionadas, las instituciones de investigación y los participantes de la industria.

²⁹ Draft Proposal to Establish the Virginia NanoManufacturing Initiative, The Virginia Research and Technology Advisory Commission, Virginia's Center for Innovate Technology and The Initiative for nanotechnology In Virginia, September 30, 2003

³⁰ Draft Proposal to Establish the Virginia NanoManufacturing Initiative, The Virginia Research and Technology Advisory Commission, Virginia's Center for Innovate Technology and The Initiative for nanotechnology In Virginia, September 30, 2003



Fig. III. 4. Esquema de la VNI

Como el lector puede ver, la estructura de la iniciativa de Virginia está constituida por una administración centralizada con grupos de investigación distribuidos e instrumentación compartida. Se propone la creación de un comité asesor de investigación y de otro comité para el desarrollo de recursos humanos, vigilando las actividades de dos grupos definidos; el grupo de científicos en nanofabricación y la red de nanomanufactura. Así, estos dos grupos compartirían información y trabajarían de manera conjunta.

El enfoque principal de la iniciativa del estado de Virginia es el desarrollo económico, dado sobre cuatro ejes básicos:

- La creación de empleos y de empresas.
- La inversión directa.
- La inversión del capital.
- El fortalecimiento del capital humano.

Se estimó que se necesitarían 40 millones de dólares durante el primer año de la iniciativa (15 millones se destinarían al equipamiento, 24 para las actividades de investigación y desarrollo y un millón cubriría los sueldos de la fuerza de trabajo) y los años segundo y hasta el quinto se financiarían con 25 millones por año, para un total de 40 millones de dólares.

<i>Inversión inicial (millones de dólares)</i>	
Manufactura de nanomateriales funcionalizados de carbono	10
Manufactura e integración de bionanomateriales y sensores	4
Fabricación y ensamble de dispositivos orgánicos e inorgánicos	10
Trabajo con el VCCS (Virginia Community College Students) en educación de R.H.	1
Recursos de instrumentación compartida con personal de investigación	15
Total	40

Tabla III.14. Posibles asignaciones a nivel estatal para investigación en la VNI, en el primer año³¹

La iniciativa contempla los siguientes mecanismos de desarrollo de la fuerza de trabajo:

- Programas y políticas educativas a desarrollar bajo la guía del comité de desarrollo de recursos humanos, de la VNI.
- Módulos de aprendizaje y clases a distancia a desarrollar por las escuelas de educación básica, las escuelas comunitarias y universidades.
- Talleres de capacitación de profesores.
- Los programas de actualización serán desarrollados e implementados a través de la red de Nanomanufactura y el sistema de escuelas de Virginia.

Los resultados esperados del proyecto son los siguientes:

- i) Lograr una posición líder en técnicas y materiales para la nanomanufactura.
- ii) Crear cambios substanciales para el cuidado de la salud, la seguridad nacional, la defensa nacional y la infraestructura civil.
- iii) Establecer el grupo de usuarios de la nanofabricación
- iv) Desarrollar una comunidad en red de Nanomanufactura
- v) Implantar programas coordinados de educación y entrenamiento para la enseñanza básica, para los colegios de la comunidad y para niveles más altos.
- vi) Crear 50,000 trabajos, con una nómina estimada de 2.5 mil millones de dólares.

Texas Nanotechnology Initiative (Tni)³²

Según consta en la página de la iniciativa texana, la Texas Nanotechnology Initiative (TNI) está definida como un consorcio entre la industria, las universidades, el gobierno y los capitalistas de riesgo, cuya meta es lograr que Texas sea un líder mundial en cuanto a descubrimientos, desarrollos y comercialización de nanotecnología. La TNI esté enfocada en unir a las empresas de nanotecnología,

³¹ Con información de Draft Proposal to Establish the Virginia NanoManufacturing Initiative, The Virginia Research and Technology Advisory Commission, Virginia's Center for Innovate Technology and The Initiative for nanotechnology In Virginia, September 30, 2003

³² <http://www.texasnano.org/>

a los científicos y el financiamiento con el fin de crear un ambiente propicio para una rápida comercialización de la nanotecnología en Texas.

La iniciativa texana fue iniciada en 2002 por el presidente de Zyvex Corporation, una importante empresa de nanotecnología. La TNI coordina, a través de su página web, a varias organizaciones no lucrativas. Los miembros de la iniciativa comprenden a varias empresas y universidades, (25 y 12, respectivamente) a saber:

Compañías	Universidades
Applied Nanotech, Inc.	Austin Community College
Austin Ventures	North Lake College
Baker Botts L.L.P.	Northwest Vista College
Carbon Nanotechnologies, Inc.	Rice University
Center for Nanospace Technologies, Inc.	Richland College
Fulbright & Jaworski L.L.P.	Southern Methodist University Southwest
JETRO Houston	Texas State University Texas A&M University
Jackson Walker L.L.P.	Texas State Technical College University of Houston
MHT Partners	University of North Texas
Microelectronics & Computer Technology Company(MCC)	UT, Arlington
NanoAppls, LLC.	UT, Austin
NanoBusiness Alliance	UT, Dallas
Nanotechnologies, Inc.	*UTSW Medical Center
NanoTechnology Gateway, Ltd. Co.	
Nanotechnology Research Foundation of Texas	
Quantum Logic Devices	
Robert Riggs Communications	
Rush Network	
Sevin Rosen Funds	
STARTech Foundation	
Vinson & Elkins, L.L.P.	
Waggener Edstrom	
Winstead Sechrest & Minick P.C.	
Vortex Partners	
Zyvex Corporation	

Tabla III. 15. Empresas y universidades participantes en la iniciativa texana.

III.5 Canada

III.5.1 Canadian Nanotechnology Initiative

Aunque existen importantes esfuerzos en el campo de la nanotecnología en Canadá, no hay una iniciativa de carácter nacional³³, como la existente en su vecino del sur. Ante esta situación, diversos sectores de la sociedad se han manifestado a favor de crear un programa nacional. La información que ofreceremos a continuación detalla los avances que se han hecho hasta el

³³ De acuerdo con el reporte IoN REPORTS 2004, NANOTECHNOLOGY IN ASIA PACIFIC 2004. En http://nanotech.research.ucf.edu/pdf/Ion_reports.pdf se puede encontrar un abstracto del mismo

momento en la conformación de la que sería la Canadian Nanotechnology Initiative.

Existe un fuerte soporte para la investigación y desarrollo y un compromiso de varios gobiernos locales. Así como se tiene el Instituto Nacional para la Nanotecnología, existe Nano-Quebec, la iniciativa de nanotecnología del gobierno de Quebec; un laboratorio de nanotecnología dentro del Instituto Nacional para la Investigación Científica de Quebec, y la Nano Innovation Platform, bajo el auspicio del Consejo de Investigación en ciencias Naturales e Ingeniería (NSWRC, por sus siglas en inglés). Así, la investigación básica en Canadá se hace en los laboratorios del Consejo Nacional de Investigación y en las universidades más importantes de ese país. Como veremos más adelante, uno de los esfuerzos más notables es el realizado por la Universidad de Waterloo, en cuanto a formación de recursos humanos se refiere.

En enero de 2001 surgió de manera oficial la visión en el ámbito de la investigación en nanociencia en Canadá. Ochenta científicos canadienses y extranjeros, personal del gobierno y hombres de negocios se reunieron en Alberta para explorar y analizar las posibilidades de Canadá en materia de nanociencia y nanotecnología.

Se llegó a un consenso en cuanto a que las áreas de oportunidad para Canadá son:

- Los nanomateriales, siendo estos los que ya están siendo comercializados y que tienen mayores potencialidades en el mercado,
- La nanofabricación,
- La nanobiología,
- La tecnología sustentable,
- La nanocaracterización y
- Las tecnologías de información.

De las reuniones se hicieron una serie de recomendaciones en cuanto a financiamiento, estrategias, estructuras e infraestructura, entre otras cosas. Así, se determinó que el gobierno canadiense necesita crear un compromiso financiero sustancial desde el principio de la iniciativa para adquirir instalaciones de clase mundial. Se estableció también que la iniciativa debe ser nacional en alcance y coordinación, con comunicaciones efectivas para maximizar la interacción y el intercambio de información entre los participantes. En este sentido, la conformación del mapa de ruta debe ser el paso inicial para establecer las metas y alcances de la iniciativa, incluyendo un análisis de modelos canadienses e internacionales; así como un inventario de las instalaciones y los recursos en nanotecnología. Este inventario debería contener no solo las instalaciones existentes, sino también las del sector privado, poniendo énfasis en las necesidades futuras de la industria.

De esta forma, se determinó que el comité principal debe ser proactivo y pequeño, con miembros que representen la intersección de las diferentes disciplinas y organizaciones, incluyendo a los gobiernos federal y estatal, a las universidades y al sector privado. Se estableció también que debe haber un balance entre los miembros propuestos para el Instituto de Nanotecnología y las organizaciones para la Red de Nanotecnología. También fue propuesta la participación de asesores extranjeros.

En cuanto a la infraestructura nacional para la nanotecnología, se dijo, debe ser una red distribuida de centros especializados a través del país, vinculados para el intercambio de información. Se prevé también la formación de un instituto de nanotecnología, el cual servirá como punto focal para la red y el plan nacional.

Se está considerando, además, la necesidad de formular una estrategia de comunicación, en la que serán de crucial importancia las audiencias al gobierno federal y estatal, a las universidades, la industria y el público en general, subrayando la potencialización regional y los beneficios regionales de la nanotecnología. La visión para la nanotecnología puede ser alcanzada a través de la cobertura de eventos especiales, talleres educativos y foros regionales.

Los integrantes del taller determinaron los cinco ingredientes que serán determinantes para el éxito de la iniciativa de nanotecnología en Canadá.

1. Financiamiento creciente y conjunto por todos los participantes (gobierno federal y estatal, universidades y otros)
2. Una visión a largo plazo, estrategias y prioridades, comandadas por un grupo asesor internacional.
3. El establecimiento y gestión eficiente de un centro multidisciplinario de nanotecnología y una buena organización de la red con vínculos internacionales. La iniciativa deberá tener un espíritu de colaboración y una visión unificada, involucrando a todos los participantes de todos los sectores.
4. Abanderados altamente reconocidos para promover la estrategia de nanotecnología.
5. Acceso a capacitación para formar personal altamente calificado y el establecimiento de programas educativos para cultivar una firme fuerza de trabajo para el futuro.

Como nuestro lector seguramente intuye, estos aspectos serán de gran utilidad al ser considerados en la formulación de un plan para nuestro país.

Iniciativa de Waterloo

La Universidad de Waterloo formuló su iniciativa en nanotecnología, para crear un nuevo programa: el BAsC in Nanotechnology Engineering, cuyo objetivo es capacitar estudiantes para aprovechar los nuevos fenómenos físicos, químicos y biológicos, las propiedades, herramientas y procesos pertinentes en sistemas y dispositivos en la escala de uno a 100 nanómetros.

Una ventaja en la iniciativa, a decir de los creadores de la misma, es que capacitará de manera ideal al estudiante; esto es, se tendrá “Un estudiante que posea la mezcla perfecta de conocimientos en física, química y ciencias biológicas, y equipado para el análisis, diseño y fabricación”³⁴

Debido a su combinación de habilidades, se espera que los estudiantes de nanotecnología de la universidad de Waterloo sean altamente demandados por la industria.

<i>Esquema de estudios de la iniciativa de Waterloo</i>	
Años 1 y 2	Ciencias Básicas: Física, Química, Matemáticas y Ciencias Biológicas.
Año 3	Básicas + Transición: A las ciencias básicas se le agregan fundamentos de ingeniería y prácticas de diseño.
Año 4	Diseño de Ingeniería: Un año completo dedicado a áreas aplicadas y diseño práctico.

Tabla III.16. Plan de estudios para la formación de un nanotecnólogo, de acuerdo con lo propuesto por la universidad de Waterloo.

Actualmente, se imparten 48 cursos de nanotecnología, 29 de los cuales llevan laboratorios diseñados específicamente para preparar a los estudiantes para desempeñarse en la investigación o en la industria. Estos laboratorios incluyen cuartos limpios para la fabricación de circuitos integrados, nanoelectrónicos y nanoinstrumentación³⁵.

Todos los estudiantes de nanotecnología se graduarán con dos años de experiencia laboral, ya que participan en trabajos de tiempo completo con una duración de entre dos y cuatro meses, o de entre dos y ocho meses cuando son proyectos llevados a lo largo del semestre³⁶.

III.6 Unión Europea

La Unión Europea se encuentra en una posición menos favorecida que los países líderes, en cuanto a desarrollo de nanotecnología se refiere. De acuerdo con los datos mostrados, las inversiones que se han venido haciendo en cada uno de los países europeos no se comparan con lo erogado en países como Estados Unidos, Japón y China; sin embargo, el esfuerzo que se está realizando en muchos sectores de la sociedad no deja de ser loable.

³⁴ <http://www.nanotech.uwaterloo.ca/>

³⁵ <http://www.nanotech.uwaterloo.ca/>

³⁶ <http://www.nanotech.uwaterloo.ca/>

Alemania es el país que tiene un desarrollo nanotecnológico más activo en toda la Unión Europea. El gobierno alemán ha auspiciado centros de excelencia, siguiendo el esquema de los centros de excelencia en biotecnología. El gobierno de Francia también ha desarrollado estructuras similares en el intento de centralizar el financiamiento para la investigación en microtecnología y nanotecnología. Por supuesto, las iniciativas son diferentes, de acuerdo con la política de financiamiento de cada país. Existen algunos programas en Austria, Finlandia y Suecia.

Gasto en Nanociencia y Nanotecnología en Europa				
<i>en millones de euros</i>				
País	1997	1998	1999	2000
Austria	1.9	2.0	2.2	2.5
Bélgica	0.9	1.0	1.1	1.2
Dinamarca		1.9	2.0	2.0
Finlandia	2.5	4.1	3.7	4.6
Francia	10.0	12.0	18.0	19.0
Alemania	47.0	49.0	58.0	63.0
Grecia	0.2	0.2	0.3	0.4
Irlanda	0.4	0.4	0.5	3.5
Italia	1.7	2.6	4.4	6.3
Países Bajos	4.3	4.7	6.2	6.9
Portugal	0.2	0.2	0.3	0.4
España	0.3	0.3	0.4	0.4
Suecia	2.2	3.4	5.6	5.8
Reino Unido	32.0	32.0	35.0	39.0
Comisión Europea	23.0	26.0	27.0	29.0
Total	126.6	139.8	164.7	184.0

Tabla III.17. Fuente: *Third European Report on S&T Indicators, 2003.*

Durante la década de los noventa varios países europeos, incluyendo a Alemania, Francia, los Países Bajos, España y el Reino Unido, organizaron y dirigieron actividades nacionales de pronóstico para identificar las prioridades que deberían tomarse en cuenta para el establecimiento de políticas en tecnología. Estos países han sustentado y acumulado conocimiento en aquellas tecnologías que muy probablemente tendrán el mayor impacto futuro.

De esta manera, se creó el ambiente necesario para el desarrollo de Nanoforum. Esta red temática, patrocinada por la Unión Europea, es una fuente de información sobre todas las áreas de la nanotecnología para la comunidad científica, social y negocios. Nanoforum facilita la comunicación entre Estados Unidos y la comunidad nanotecnológica a lo largo y ancho de Europa.

La misión de Nanoforum es incluir a socios de diversas disciplinas, reuniendo redes nacionales y regionales existentes, compartiendo las mejores prácticas y su

promoviendo su difusión nacional, estimulando la creación de pequeñas y medianas empresas a través del financiamiento de capitalistas de riesgo y de los Estados Unidos, proveyendo de medios para hacer las interfaces con redes norteamericanas, estimulando iniciativas de nanotecnología en países europeos subdesarrollados, estimular a los científicos jóvenes, publicando la buena investigación y formando una red de conocimiento y experiencia.

Nanoforum tiene como meta el proveer de un marco de vinculación para todas las actividades en nanotecnología desarrolladas en la Unión Europea. Este, a su vez, servirá como el punto central a partir del cual se tendrá acceso a información sobre programas de investigación, desarrollos tecnológicos, oportunidades de financiamiento y futuras actividades en la comunidad.

Por otra parte, en cuanto a las redes de trabajo en nanociencia, se tienen, entre otros, los siguientes programas:

- El ESPRIT Advanced Research Initiative in Microelectronics y los BRITE/EURAM proyectos en ciencia de materiales que están dedicados parcialmente a la nanotecnología.
- PHANTOMS (Physics and Technology of Mesoscale Systems) es una red creada en 1992 que agrupa a unos 40 miembros con el propósito de estimular la producción de nanoelectrónicos y ópticoelectrónicos. Este centro es coordinado por el IMEC Centro de Microelectrónicos en Leuven, Bélgica. La red es una iniciativa creada bajo el programa Information Society Technologies (IST).

III.6.1 Alemania

El gobierno alemán presentó su estrategia para nanotecnología en mayo de 2002, reconociendo la importancia de la nanotecnología como una de las tecnologías clave para los campos de la óptica y electrónica, manufactura, química, materiales y biotecnología. Así, la nanotecnología se ha constituido como una prioridad para el gobierno alemán. Como respuesta, se constituyeron siete centros de excelencia en nanotecnología hasta 2003, financiados totalmente por el ministerio alemán. Actualmente existen 9 redes de trabajo (que retomaron el trabajo de los centros de competencia y agregaron tópicos de investigación) que cuentan con un financiamiento del 50% de parte del ministerio alemán y el otro 50% proviene de otras fuentes.

1. Centro de Competencia NanoChem
2. Centro de Competencia NanoBioTech (constituida por dos gobiernos federales y la industria)
3. Centro de Competencia Nanoanalytik (en Münster)
4. Centro de Competencia HanseNanoTec (en la que colaboran universidades e industria de Hamburgo)
5. Red de excelencia en nanobiotecnología
6. Láminas ultradelgadas funcionales

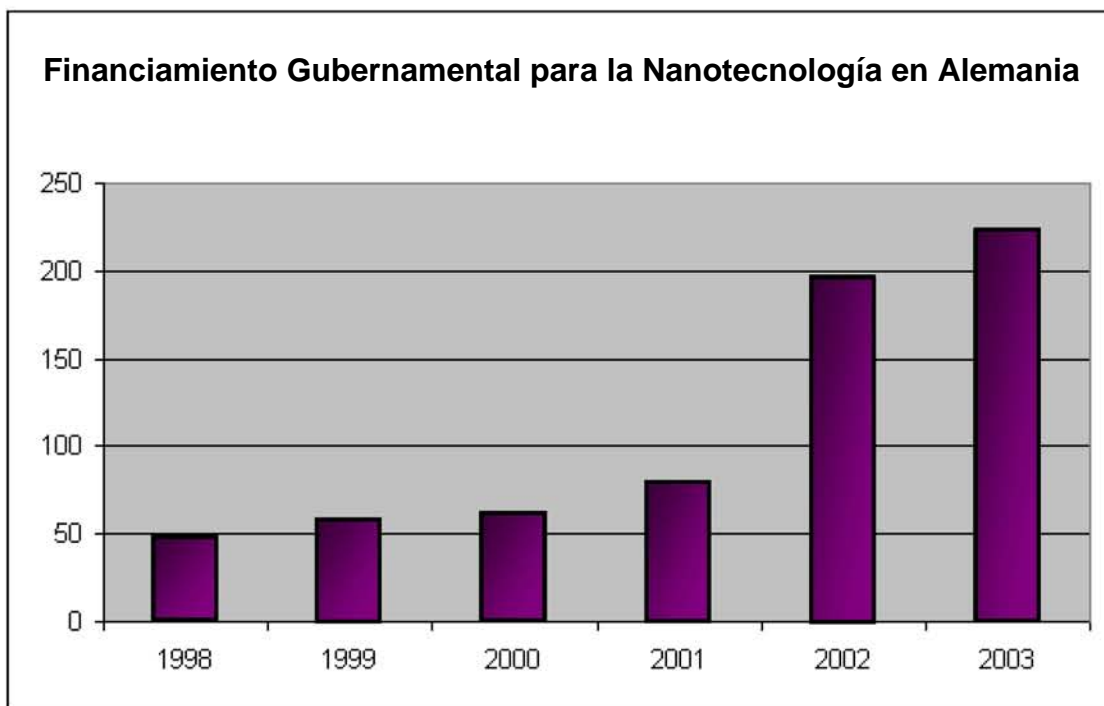
7. Tratamiento superficial de ultraprecisión
8. NanoOp: Aplicaciones de las nanoestructuras en el campo de la óptica-electrónica (en Berlín).
9. Nanomateriales

La relación entre la nanotecnología y la biotecnología es, a decir del gobierno alemán, muy estrecha, lo que justifica esta estructura.

Los diez elementos clave de la estrategia alemana para la nanotecnología incluyen:

1. El fortalecimiento de la base científica y tecnológica para la nanotecnología y promoción de investigación estratégica.
2. El establecimiento de redes de trabajo que involucren las mejores instalaciones de investigación del sector público, privado, universidades y compañías.
3. La exploración y soporte de aplicaciones potenciales de la nanotecnología mediante proyectos que permitan descubrir los beneficios potenciales de la nanotecnología.
4. El impulso y promoción del establecimiento de nuevas compañías en áreas de alta tecnología.
5. El fortalecimiento de las chicas y medianas empresas. Cerca de 130 PYMES están involucradas con los seis centros alemanes de competencia.
6. El aprovechamiento de oportunidades de colaboración internacional y en clusters de competencia en nanotecnología dentro de Europa.
7. El impulso a jóvenes científicos y a la investigación interdisciplinaria.
8. El identificar las habilidades requeridas para explotar el potencial económico de la nanotecnología.
9. La iniciación de un profundo debate sobre las oportunidades. Perspectivas y riesgos de la nanotecnología, sus usos potenciales y sus implicaciones para la sociedad.
10. El explorar la necesidad de un marco legal.

La siguiente gráfica muestra el financiamiento gubernamental para la nanotecnología en Alemania, en millones de dólares.



Gráfica III.4.³⁷ Financiamiento gubernamental para la nanotecnología en Alemania, en millones de dólares

El Ministerio de Investigación y Tecnología (BMBF), por su parte, ha hecho su mayor apuesta a la nanotecnología aplicada al campo de la electrónica.

<i>Financiamiento del BMBF para la nanotecnología en millones de Euros</i>	2001	2002	2003
Nanomateriales	23.5	23.9	29.1
Tecnología Óptica	12.6	17.0	17.6
Nanobiotecnología	1.3	8.5	9.6
Nanoelectrónicos	8.6	27.5	42.0**
Tecnologías de comunicaciones	2.9	4.0	4.0
Tecnologías de manufactura	0.2	0.6	1.3
Ingeniería de Microsistemas	5.0	7.0	8.5
Total	54.1	88.5	112.1

Tabla III.18. Como puede verse, para 2003 el financiamiento para la electrónica a la nanoescala representa el mayor porcentaje del total.

El presupuesto para 2005 es de 166 millones de euros, tan solo para nanoelectrónica y nanomateriales³⁸.

Actualmente se tienen contabilizados un total de 79 empresas alemanas trabajando en nanotecnología, entre las que cuentan Bayer, Carl Zeiss, etc.

³⁷ <http://www.nanoinvestornews.com/modules.php?name=Countries&op=viewloc&country=germany>

³⁸ http://www.britischebotschaft.de/en/embassy/r&t/notes/rt-note04.1031_draft_budget.htm

Empresas alemanas trabajando en nanotecnología

1 AICove Surfaces GmbH	40 NANOFOCUS AG
2 AMO GmbH	41 Nanogate Technologies GmbH
3 ASTICS GmbH	42 NANOLYTICS
4 ATOMIC FORCE F&E GmbH	43 NANOMEDX GmbH
5 ATOS	44 NANOPARC GmbH
6 attocube systems AG	45 NANOPHARM AG
7 BASF CORP.	46 NanoScape AG
8 BAYER CORP.	47 NANOSOLUTIONS GmbH
9 Capsulation NanoScience AG	48 NanoTOOLS GmbH
10 Carbo-Tec GmbH	49 NANOTYPE GmbH
11 CARL ZEISS GROUP	50 NASCATEC GmbH
12 DR. GENTHE GmbH & Co. (GENTHE-X-COATINGS)	51 NaWoTec Ltd.
13 FEW CHEMICALS GmbH	52 novosom AG
14 FOCUS GmbH	53 NSC-Nanosemiconductor GmbH
15 FutureCarbon GmbH	54 NTC Nano Tech Coatings GmbH
16 GFD (Gesellschaft für Diamantprodukte mbH)	55 OMICRON NANOTECHNOLOGY GmbH
17 Heidelberg Instruments	56 Ormecon GmbH
18 HEMOTEQ GmbH	57 PHYSIK INSTRUMENTE (PI) GMBH & Co. KG
19 Holotools GmbH	58 PIEZOSYSTEM JENA GmbH
20 ibidi GmbH (Integrated BioDiagnostics)	59 PlasmaChem GmbH
21 IBU-tec GmbH & Co. KG	60 Raith GmbH
22 Infineon Technologies AG	61 RELAB AG
23 ION-TOF GmbH	62 S T A I B INSTRUMENTS
24 ItN Nanovation GmbH	63 SACHTLEBEN CHEMIE GMBH
25 JPK Instruments AG	64 sarastro GmbH
26 KLEINDIEK NANOTECHNIK	65 SCHERING AG
27 KLOCKE NANOTECHNIK	66 Soft Imaging System GmbH
28 MERCK KGaA	67 SuNyx Surface Nanotechnologies GmbH
29 micro resist technology GmbH	68 SURFACE
30 MICROMOD PARTIKELTECHNOLOGIE GMBH	69 SURFACE IMAGING SYSTEMS
31 Mildendo GmbH	70 SUSS MicroTec AG
32 Munich Innovative Biomaterials GmbH (MIB)	71 SUSTECH DARMSTADT GmbH & Co KG
33 N-TEC GmbH	72 Synthesechemie GmbH
34 Nanion Technologies GmbH	73 TEAM NANOTEC GmbH
35 NANO-X GmbH	74 thinXXS GmbH
36 NANOANALYTICS GmbH	75 TRIPLE-O MICROSCOPY GmbH
37 NanoAndMore GmbH	76 Virus Tracing Group
38 NanoCraft	77 WITec GmbH
39 Nanofilm Technologie GmbH	78 X-COAT GmbH
	79 X-Fab Semiconductor Foundries AG

Tabla III.19

Por otra parte, existen 9 instituciones haciendo trabajos de investigación y desarrollo en nanociencia y nanotecnología:

- El Charité Hospital³⁹, ubicado en Berlín, que está concentrando su investigación en la lucha contra el cáncer a través de nanopartículas de óxido de hierro, las cuales parecen tener la propiedad de quemar a las células cancerosas. Estas partículas son envueltas en una sustancia orgánica, como la glucosa, y son inyectadas en el tumor. Las células malignas devoran esta sustancia, mientras que las células sanas no muestran interés por la misma. El objetivo es dañar las células cancerosas, y se usa principalmente en el cáncer cerebral.

³⁹ <http://www.dw-world.de/dw/article/0,,961880,00.html>

- La Darmstadt University of Technology⁴⁰, a través de su Instituto de ciencia de materiales, en su división de películas delgadas, tiene un programa científico que combina la síntesis y caracterización con la determinación de las propiedades de materiales nanoestructurados, así como el modelado y simulación de los mismos.
- La Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) trabaja a través de su Centro para la Nanociencia (CeNS)⁴¹, establecido en 1998, con el propósito de estimular y apoyar la investigación multidisciplinaria en todas las áreas de la nanociencia, combinando física, química, bioquímica y ciencias de la vida. La LMU está ubicada en Munich, Alemania.
- El Instituto Max Planck⁴² para la Investigación de Estado Sólido alberga al Equipo de Trabajo en Nanoestructuras Sintéticas, que a su vez es parte del Grupo Klitzing. Sus investigaciones sobre partículas sintéticas complementan la investigación de nanoestructuras preparadas por tecnologías de semiconductores. Este equipo inició sus trabajos en la década de los ochentas con la investigación sobre partículas y moléculas presentes en los nanotubos de carbono y en fibras de pentaóxido de vanadio.
- La Universidad de Ciencias Aplicadas de Munich⁴³ ofrece maestrías en micro y nanotecnología.
- En la Universidad de Dortmund⁴⁴ existe un equipo de científicos alemanes que ha tenido éxito al crear lo que ellos llaman “velcro” de DNA para unir nanopartículas y luego separarlas. A partir de esto, los científicos están construyendo nuevos materiales, y se piensa que se podría lograr, algún día, que los materiales se “auto construyan”.
- En la Universidad de Heidelberg, la investigación está enfocada principalmente a los nanotubos y sus propiedades. En particular, los investigadores de esta universidad y de otras instituciones de Europa observaron nanotubos en las células de riñones de embriones humanos y en el de ratas
- La Universidad de la Saarland⁴⁵ coordina el *Centro Europeo de Nanotecnología Química para Innovaciones en Materiales*, el cual auspicia al Instituto para Nuevos Materiales, el cual concentra desde 1990 la investigación y desarrollo de nuevos materiales. Actualmente, cerca de 200

⁴⁰ <http://www.ds.mw.tu-darmstadt.de/>

⁴¹ <http://www.nanoscience.uni-muenchen.de/lmu/home.htm>

⁴² <http://www.fkf.mpg.de/klitzing/research/nano/nano.html>

⁴³ <http://www.fh-muenchen.de>, solo en alemán

⁴⁴ <http://www.uni-dortmund.de/web/en/>, disponible en alemán

⁴⁵ <http://www.inm-gmbh.de>, permite acceder a información en inglés y alemán

científicos, ingenieros y técnicos están trabajando en un sus instalaciones, que cuentan con un área de 12,500 m². Compañías de Europa y América colaboran con este instituto.

- La Universidad de Würzburg ⁴⁶ ofrece un posgrado en Ingeniería de Nanoestructuración (Engineering Nanostrukturtechnik)

III.6.2 España

La Unión Europea ha delegado a la nación española la misión de coordinar los esfuerzos del viejo continente en materia de nanotecnología.

Existen dos redes en España; Nanociencia y Nanospain. La Red Nanociencia cuenta con un presupuesto federal de 5 millones de dólares para tres años que le otorga el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Los principales objetivos de Nanociencia son:

- Propiciar el intercambio de experiencias entre los investigadores que conforman la red, con la finalidad de promover y desarrollar proyectos multinacionales, interinstitucionales e interdisciplinarios;
- Impulsar proyectos conjuntos de investigación en el área de la nanociencia y la nanotecnología;
- Fomentar la formación de recursos humanos en el área;
- Promover y apoyar la divulgación de resultados obtenidos sobre nanociencia y nanotecnología.

NanoSpain, por su parte, pretende aglutinar esfuerzos de grupos de investigación ubicados en universidades, organismos públicos de investigación, centros tecnológicos y empresas para coordinar todos los esfuerzos que se hacen en este campo. Nanospain agrupa a grupos de investigación españoles que trabajan en cuestiones directamente relacionadas con la nanotecnología y no cuenta con un presupuesto federal.

Existen otros esfuerzos institucionales, como la creación de los institutos de nanotecnología y de nanobiotecnología en el Parque Científico de Cataluña, un Centro de Nanotecnología de Aragón, y el Instituto de Nanotecnología y Diseño Molecular, en el parque científico de Madrid. En Madrid también se encuentra Nanotec Electrónica S.L., empresa dedicada al desarrollo de microscopios de fuerzas y de efecto túnel

⁴⁶ <http://www.uni-wuerzburg.de/index.php?lang=en>

III. 7 Asia

La aplicación de nanotecnología en biomédica, incluyendo diagnóstico, medicina y sus áreas relacionadas, han sido fuertemente enfatizadas en los programas nacionales de nanotecnología en los países asiáticos. Los esfuerzos gubernamentales se han enfocado en coordinar los programas nacionales y promover la colaboración interdisciplinaria. En Japón, Corea y Taiwán, la fusión de las tecnologías de la información, y de las bio y nanotecnologías, es particularmente explícita en sus políticas de ciencia y tecnología. Los proyectos Nano-Bio cubren tópicos tales como diagnóstico (detección molecular con biochips, sensores, liberación genética, etc.), sistemas de administración de medicamentos dirigidos (DDS, de las siglas de Targeted Drug Delivery System), medicina regenerativa y nanodispositivos médicos⁴⁷.

De esta manera, el gobierno de China ha invertido cerca de 230 millones de dólares en nanociencia y nanotecnología durante su décimo plan de cinco años (2001-2005), y la nanobiología es una de las áreas clave en sus programas de nanotecnología. Varias agencias, incluyendo el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MOST), la Fundación Nacional de Ciencia de China (NSFC) y la Academia China de Ciencias (CAS) están desarrollando proyectos en nanobiología y nanomedicina los cuales constituyen el diez por ciento de los proyectos financiados por el gobierno.

Actualmente China está planeando su onceavo plan de cinco años, para el periodo 2006-2010, con el cual se incrementará 10 veces la inversión con respecto al plan anterior, para llegar a 2 mil millones de RMB.

Korea, por su parte, lanzó su plan de promoción de nanotecnología en 2001, para el periodo 2001-2010, en el ánimo de ubicarse entre las 5 primeras naciones en el mundo. Cabe hacer mención de que la inversión per capita de Corea es la segunda más alta en toda Asia, después de Japón, el país asiático que se encuentra compitiendo por la primera posición a nivel mundial, en materia de desarrollo nanotecnológico.

Taiwán lanzó su programa nacional de nanotecnología en 2002, y se estima su presupuesto en aproximadamente 630 millones de dólares entre 2003-2008, al cual contribuyen todas las entidades en Taiwán, incluyendo el Consejo Nacional de Ciencia (NSC), el Ministerio de Asuntos Económicos (MOEA), el Ministerio de Educación (MOE), el Ministerio de Salud (MOH), el Consejo de Energía Atómica (AEC), y la Administración de Protección Ambiental (EPA). El 13.38 % del presupuesto total se dedica al Programa de Excelencia Académica (AEP), apoyado por la NSC, y el 1.6% se destina a la nanomedicina y nanobio.

⁴⁷ www.nanoworld.jp/apnw/articles/3-42.php

III.7.1 Japón

Japón es el segundo gigante, después de los Estados Unidos y casi a la par, en cuanto a avances en nanotecnología se refiere. Igualando e incluso superando las inversiones gubernamentales estadounidenses, teniendo la segunda posición en materia de patentes tecnológicas y con los centros mejor equipados y la investigación más avanzada, el país del sol naciente marca la pauta y le muestra al mundo sus capacidades actuales y en desarrollo, que lo ubican en la privilegiada situación en la que se encuentra. El lector debe saber que la página japonesa en internet, dedicada a la investigación de la situación del mundo en nanociencia y nanotecnología, es una de las más completas que hemos visto, y la fuente principal de mucha de la información del mundo, utilizada en esta tesis.

Japón empezó sus actividades de investigación y desarrollo nanotecnológico en 1980⁴⁸. Muchos de los programas han sido financiados por la JST (Japan Science and Technology Agency) bajo el programa ERATO (Exploratory Research for Advanced Technology)⁴⁹, iniciado en 1981, con la misión de coordinar todos los proyectos de la más alta tecnología) siendo este un programa de cinco años con un presupuesto de entre 10 y 15 millones de dólares. ERATO comprende una serie de proyectos de tecnología de punta; por ejemplo; el Proyecto Erato Hayashi Ultra-fine Particle, desarrollado entre 1981 y 1986, enfocado en nanomateriales, o el proyecto Yoshida Nano-mechanism Erato Project (1985-1990) centrado en la investigación en nanoinstrumentación, son solo dos de muchos programas en nanotecnología.

En los años noventas, el Ministerio de Economía, Comercio e Industria del Japón lanzó un gran número de programas en nanotecnología, tales como el Quantum Functional Devices (1991-2001), un programa sobre nanoelectrónicos que involucra a las empresas electrónicas japonesas más importantes, y el Ultimate Manipulations of Atoms and Molecules (de 1992 a 2002, el más grande, con un presupuesto de 250 millones de dólares en 10 años), un extensivo programa que cubre nanomateriales, nanobiología y nanoelectrónicos. Hay otros esfuerzos financiados por el Ministerio de Educación, Cultura, Deportes, Ciencia y Tecnología (MEXT), el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) y otras agencias en las últimas dos décadas.

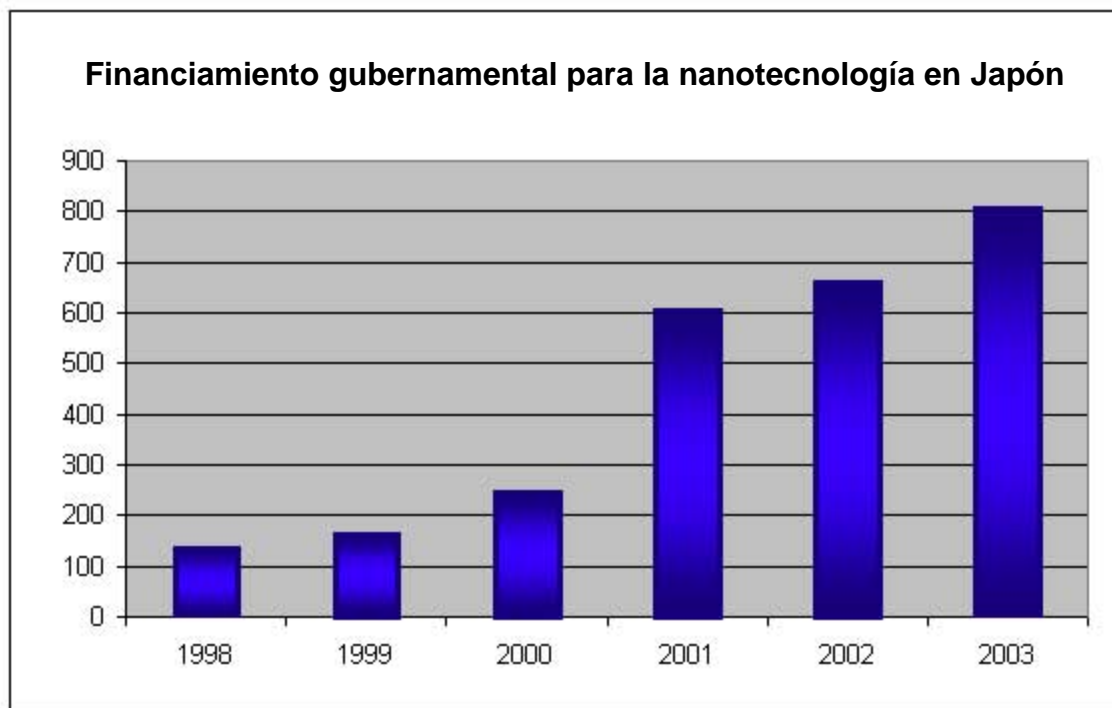
El gasto per capita del gobierno japonés en nanotecnología ha sido el más alto en el mundo. Recientemente Japón ha estado acelerando la utilización de sus recursos e infraestructura en pro del desarrollo de las industrias y negocios de la nanotecnología.

En 2002 el MEXT lanzó el Nanotechnology Researcher Network Center of Japan (NRNCJ). Este centro ofrece instalaciones para la investigación básica, servicios

⁴⁸ Japan Government lunched Nanotech Business Strategy, de la APNW en su edición del 25 de febrero de 2003, www.nanoworld.jp

⁴⁹ Sobre el programa Erato; <http://www.jst.go.jp/>

de información y soporte para la transferencia de tecnología para los científicos japoneses.



Gráfica III. 5. Las cantidades están en millones de dólares. Fuente: Nanoinvestors.com

El National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) alberga al Innovation Center for Start-ups (ICS) con un presupuesto de 50 millones de dólares en cinco años. El ICS tiene la misión de desarrollar estrategias para negocios de riesgo y nutrir las características de los negocios de riesgo de Japón. Es financiado por el MEXT y tiene como uno de sus objetivos principales el establecimiento de start-ups en nanotecnología.

El METI estableció una nueva división llamada Nanotechnology&Materials Strategy Office (NMSO), dedicada a regular las políticas para la aplicación de la nanotecnología e negocios. Esta oficina anunció el Plan de Comercialización y ejecución de la Nanotecnología a mediados de febrero de 2003. Los miembros de la NMSO incluyen a personas claves de varios departamentos y divisiones del METI y la AIST. Las áreas principales de la industria y los negocios en los que está enfocada la NMSO son las tecnologías de semiconductores, las redes ópticas, la nueva generación de tecnologías de visualización, tecnología de micromáquinas médicas, tecnología de micromediciones, tecnología de celdas de combustible, instrumentación, transporte, y tecnología de foto catálisis.

A continuación hablamos muy someramente sobre dos empresas⁵⁰, cuya omisión en la definición del estado de la nanotecnología en Japón resulta imposible:

- NEC Corporation

Fue en 1991 cuando un grupo de investigadores de los laboratorios de NEC, liderados por el Dr. Sumio Iijima, desarrollaron el nanotubo de carbono. Hoy en día, NEC está desarrollando delgadas celdas de combustible que utilizan nanotubos de carbono. Se cree que cuando se aplique esta tecnología, la computadora portátil del futuro podrá ser usada durante varios días con una sola batería, entre muchas otras cosas.

- Noritake Itron Corporation (una filial de Noritake Co., Ltd.)

Esta empresa se ha puesto a la cabeza en el desarrollo de tubos visualizadores fluorescentes de vacío. En el campo de la nanotecnología, es la primera en el mundo en desarrollar exitosamente dispositivos de emisión de campo utilizando nanotubos de carbono. Este hecho genera grandes expectativas, ya que se trata del perfecto visualizador delgado con buenas posibilidades de formación de imágenes y un consumo bajo de energía.

El país del sol naciente está ubicado en un nivel difícil de alcanzar, dado por su enorme potencial humano y tecnológico. El futuro nos depara aún más sorpresas, y los japoneses tendrán mucho que ver con esto. Mientras tanto, queremos dejar al lector la inquietud por conocer y asimilar el estado en el cual se encuentra la tecnología de nuestro tiempo, en uno de los países que lidera el desarrollo de la misma.

III.7.2 China

El caso de China merece un análisis profundo, dadas las condiciones actuales del gigante asiático, su rápido crecimiento económico y político, y el lugar que ocupa a nivel mundial en materia de nanotecnología. Es bien sabido que China ha escalado a paso firme, en la última década, y que se ha posicionado dentro de las tres naciones con mayores desarrollos nanotecnológicos. Así, de acuerdo con el "Topical Citation Report on Nanotechnology" durante 1992-2002, la Academia China de Ciencias (CAS) está ubicada en el cuarto lugar (atrás de Berkeley, IBM y el MIT) de menciones entre los Institutos de Investigación en Nanotecnología (publicó más de 100 documentos de nanotecnología entre 1992 y 2002) clasificado por menciones e impacto de la mención. En el reporte Thomas Derwent 2003, en patentes de nanociencia y nanotecnología de 2000-2002, China está en tercer lugar (con el 12% de las patentes mundiales) siguiendo a los Estados

⁵⁰ Con información de www.jetro.go.jp, en un artículo referente a las ventajas de invertir en Japón.

Unidos (32%) y a Japón (21%). Y el APEC 2001 situó a China el tercer lugar en publicaciones de nanociencia y tecnología (14.2% del total mundial), siendo superado por los Estados Unidos (41.6%) y por Japón (15.2%).⁵¹

La pregunta lógica está relacionada con las estrategias que ha seguido China para competir con las grandes potencias, hasta convertirse en una de ellas. Este apartado mostrará algunas de estas políticas y estrategias.

Para seguir apoyando la investigación y desarrollo en nanociencia y nanotecnología, los gobiernos central y regional de china están invirtiendo más recursos para acelerar la comercialización de la nanotecnología. Solo en los últimos tres años existen 5 centros iniciándose en China:

<i>Nombre</i>	<i>Fecha de fundación</i>	<i>Fuente de financiamiento</i>	<i>Financiamiento</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Descripción</i>
Centro Nacional para Nanociencia y Tecnología	Diciembre 2002	Gobierno Central	250 millones RMB	Beijing	Nanociencia, 60 Plataforma nacional de estrategia de investigación, coordinación y colaboración internacional
National Nanotechnology Industry base	Diciembre 2002	Gobiernos central y de Tianjin		Tianjin	Instalaciones centrales e incubación para "spin offs" en investigación y desarrollo de Beijing y en otras ciudades
Desarrollo de Nanotecnología y la Industria de Beijing		Gobierno de beijing	40 millones RMB	Beijing	Coordinación de proyectos de investigación en nanomateriales en Beijing
Centro de Promoción y desarrollo de la nanotecnología y la Industria de Shangai	Julio 2001	Gobierno de Shangai		Shangai	Aplicación internacional, comercialización y coordinación en Shangai
Centro Nacional para la Nanoingeniería	Octubre 2003		200 millones RMB		Centro enfocado en aplicación de investigación y desarrollo en nanotecnología

Tabla III.20.

En el año pasado, el gobierno central de China decidió invertir substancialmente en coordinar y asignar sus recursos nacionales para conducir más investigación y desarrollo estratégicos en nanotecnología. Se decidió establecer dos centros nacionales, el National Center for Nano Science and Technology (NCNST,

⁵¹ Asia Pacific Nanotech Weekly, 23 de junio de 2004, Estado de la Industria Nanotecnológica en China

financiado con 250 millones de RMB⁵²) localizado en Beijing, y el National Center for Nano engineering and Technology (NCNET, financiado con 200 millones de RMB) localizado en Shangai. El NCNST estará ubicado cerca de CAS en la zona Zhong Guan Cun, (la zona científica y tecnológica de Beijing), y la que tiene la más alta concentración de excelencia académica y la industria de alta tecnología en China.

El CAS Nanotechnology and Engineering Center Corporations Ltd, establecido a inicios del 2003, se creó como una plataforma para la aceleración de la comercialización de la investigación y desarrollo de CAS. La siguiente tabla sintetiza más detalles:

Nombre	CAS Nanotech Engineering Center Co. Ltd, China
Tamaño	60 personas
Fecha de fundación	Noviembre de 2002
Tecnología	Nanomateriales Superamphiphopic y superamphiohilic, fotocatalíticos, y SPMS de CAS
Capital	30 millones RMB (8.5 millones USD)
Inversionistas	Good Fellow Group (HK listed company)
Estrategia	Licenciamiento tecnológico, enfoque del R&D en industriales y socios con compañías que tienen grandes participaciones en el mercado
Socios	Erdos (Cashmere company), Beijing Glass Ltd, Shan Shan suit Co. Ltd y otros
Productos	Textiles superamphiphopic y superamphiohilic y recubrimientos para ventanas, Purificadores de aire, poliuretano nanocompuesto y SPMS
Ingresos	Positivos, balanceados
Cualidad única	Respaldado por CAS en terminos de HR, infraestructura de investigación y desarrollo y financiamiento para investigación
Comentarios	China puede ser competitivo en aplicaciones de nanomateriales en las industrias existentes

Tabla III.21. Derechos reservados de APNW

En el área de Shangai, compañías como Shangai Ai-Jiang Nanotechnology Development Co. Ltd (la cual tiene un exitoso mercado de MICROSCOPIOS DE en China), y Shangai Nanoport se están enfocando en productos de Bionanomedicina y bionanoambiente, y ambas están listadas entre las diez compañías de nanotecnología en China por el New Economy Weekly, de Beijing.

El gobierno central de China destinó fondos para la comercialización de nanotecnología en 2002 por cerca de 100 millones RMB, mas de 15% del total de la inversión gubernamental en nanociencia y nanotecnología.

⁵² El Renminbi (RMB) es la moneda china; un dólar estadounidense equivale a unos 8.28 RMB. En chino, “renminbi” significa “modernidad de la gente”.

De acuerdo con las estadísticas del gobierno realizadas en julio de 2002, la distribución porcentual de los productos nanotecnológicos en áreas de aplicación es la que se muestra a continuación:

- Plásticos: 20%
- Textiles: 20%
- Cerámicos: 17%
- Recubrimientos: 13%
- Caucho/hule: 13%
- Otros: 17%

Existen cerca de 800 compañías de nanotecnología en China, de acuerdo con la encuesta de MOST (el Ministerio de Ciencia y Tecnología de China). La siguiente tabla muestra las estadísticas de la distribución de las compañías en diferentes áreas. Esta información indica que la producción de polvos nanoestructurados es de gran interés para la iniciativa privada china.

<i>Nanotecnología</i>	<i>Número de compañías</i>	
	Julio 2001	Julio 2002
Procesos de nanomateriales	68	83
Aplicación de nanomateriales	33	48
Dispositivos de nanomateriales	11	19
Procesos de polvos ultrafinos	73	105
Aplicación de polvos ultrafinos	112	136

Tabla III.22. Fuente: Director del NCNST, Profesor C.L. BAI

Las compañías están distribuidas principalmente en Shangai (35%), Beijing (30%) y Shenzhen (15%). Y la provincia de Guangdong tiene el más alto porcentaje (26%) de las compañías de nanopolvos.

Comparado con el desarrollo de países tales como Japón y Estados Unidos, China carece de la infraestructura para la comercialización en industrias de alta tecnología, especialmente en el campo de los dispositivos. Sin embargo, en aplicación de materiales, China es competitivo. Por otra parte, el espíritu empresarial de los chinos y el manejo de mejor tecnología para mejorar la competitividad internacional de los productos chinos provee de buenos incentivos para la aceleración de la comercialización nanotecnológica china. La mayoría de las compañías en China son spins offs de universidades de la Academia China de Ciencias. Muchas compañías están aún por adquirir habilidades profesionales de negocios para crecer más.

El centro de investigación nanotecnológica líder en China es el TsingHua Foxcom Nanotechnology Research Center (TFNRC), el cual fue donado por el presidente de Foxcom Corporation (la empresa privada más grande de Taiwan, también llamada Hong-Pai Precision Industry y la octava empresa dentro de las 100 compañías en tecnologías de información, según la Business Week) Guo Tai-ming con 300 millones RMB (cerca de 37 millones de dólares) en el campus de la

Universidad TsingHua (uno de las más prestigiosas universidades en China). El centro es un edificio de 5 niveles con áreas de 13000 metros cuadrados y fue terminado en diciembre de 2003.

Reconociendo la competencia global de la nanotecnología y la necesidad de transferencia de tecnología, el TFNRC no es solo un lugar único para el intercambio de investigación académica a nivel nacional e internacional, sino también un puente para la transferencia tecnológica para la investigación en nanociencia y nanotecnología. A diferencia de muchos otros centros de investigación en China, todas las instalaciones en el TFNRC están abiertas para los científicos nacionales y extranjeros. El principal interés del centro es el diseño asistido por computadora, el modelado de nano-ópticos, los materiales y dispositivos funcionales.

Las aplicaciones de la nanotecnología son atractivas para las industrias de materiales en China, y en esto está enfocada la estrategia de comercialización de nanotecnología. China no tiene infraestructura electrónica avanzada, y tiene aún una brecha en su investigación básica para la industria en electrónica. La investigación básica en el área de nanoelectrónicos aún debe ser fortalecida. En el campo de las aplicaciones biotecnológicas, las aplicaciones de la nanotecnología en la medicina china podría capturar el interés de la industria.

Hong Kong

En Hong Kong, los recursos para la investigación y desarrollo en nanotecnología provienen principalmente de dos fuentes; el Research Grant Council (RGC) y el Innovation and Technology Fund (ITF). El RGC financia principalmente la investigación básica de las universidades y el ITF financia la investigación de universidades e industrias para promover el avance tecnológico e incrementar la competitividad de las industrias existentes y las de nueva creación en Hong Kong. Los administradores de RGC y ITF mantienen una comunicación razonable y coordinan sus programas de financiamiento para evitar traslapes. El ITF inició sus programas estratégicos de nanotecnología desde 2001, después de que el Consejo Legislativo aprobara la Iniciativa para el Desarrollo de Nanotecnología, el 31 de octubre de 2001.

La iniciativa del ITF tiene cuatro objetivos principales:

1. Capacitar grupos científicos de excelencia para fundamentarse en el área de esfuerzos existente en el desarrollo de aplicaciones nanotecnológicas.
2. Promover la investigación y desarrollo con colaboración entre los diversos grupos de investigación, en diferentes disciplinas de la ciencia y la ingeniería para crear un mayor impacto.
3. Fortalecer la integración de actividades de investigación a través de la asociación entre la academia y la industria.

4. Desarrollar nanomateriales funcionales para aplicaciones comerciales, en almacenamiento de energía, telecomunicaciones, textiles, áreas biomédicas y ambientales.

Además, el programa de nanotecnología del ITF promueve la colaboración internacional y la importación de expertos internacionales.

III.7.3 Corea

Corea del Sur, un país con más de 48 millones de habitantes, está demostrando su fuerte ambición de liderar al mundo en cuanto a investigación, desarrollo y negocios en nanotecnología. El gobierno ha reconocido que la nanotecnología es una tecnología básica y genérica para el desarrollo en las áreas de información, biología, materiales, energía, ambiente, militar, espacial, etc.

Como se comentó al inicio de este capítulo, el caso de Corea merece un análisis especial. El estado actual de la nanotecnología en este país ha sido cuidadosamente estudiado por propios y extraños; nuestro objetivo es ofrecer al lector un panorama general. Así, se puede decir que:

- El sector público juega un papel líder en la promoción de la nanotecnología.
- Existe la creencia de que la nanotecnología puede revolucionar a la humanidad con un serio impacto.
- Se creó un plan a 10 años en 2001.
- Se legisló en materia de “reglas de operación” para el desarrollo de la nanotecnología en 2003; el ministerio de MOST debe formular un programa detallado que facilite el desarrollo de nanotecnología.
- Se estima una inversión de 1300 millones de dólares por 10 años; el gobierno aporta 860 millones (el 66%) y 440 millones (44%) lo aporta la sociedad civil.
- En cuanto a infraestructura, se tiene un centro nacional de nanofabricación y un centro de nanofabricación avanzada; en cuanto a la red de información, la distribución de la información está centralizada
- Educación y capacitación; se cuenta con un programa interdisciplinario de educación en nanotecnología, educación en línea, y se hacen conferencias, grupos de trabajo y foros.
- Existe cooperación internacional para la innovación tecnológica y programas de intercambio⁵³.

Los objetivos de la política nanotecnológica coreana son crear empleos e incrementar la competitividad de la industria, así como fusionar las tecnologías de información, la biotecnología y la nanotecnología para aumentar la competitividad de la industria en el mercado actual. Se pretende también elevar el nivel de

⁵³ La información se ha obtenido de la presentación de la Universidad de Seúl, “Korean Nanotechnology Networks and funding” hecha por el Presidente de la Korean Nano Researchers Association, Zheong G. Khim, con fecha 11 de octubre de 2003.

investigación y desarrollo en nanotecnología para llegar al 50% del país líder en 2006, al 80% para 2010. Como puede observarse, las metas coreanas están perfectamente definidas en tiempo y espacio.

Corea ha asignado 2.391 trillones de won (2 mil millones de dólares) en un periodo de 10 años (2001-2010) para la investigación y desarrollo en nanociencia y nanotecnología. El incremento en el gasto gubernamental en nanotecnología comparado con 2002 es de aproximadamente el 400%.

Una de las metas de esta iniciativa es hacer de Corea en número uno en el mundo en determinadas áreas competitivas y desarrollar nichos de mercado para el crecimiento de la industria. El “Plan para implementar el desarrollo de nanotecnología para el año 2002” fue lanzado junto con dos programas de investigación de frontera “Desarrollo de tecnologías de materiales nanoestructurados” y “Desarrollo de tecnologías de manufactura y mecatrónicas a la nanoescala”. Cada programa esta financiado con 100 millones para los siguientes 10 años.

Plan de Inversión para la Nanotecnología en Corea									
	Primera fase (2001-2004)		Segunda fase (2005-2007)		Tercera fase (2007-2010)		Suma		
	Gobierno	Civil	Gobierno	Civil	Gobierno	Civil	Gobierno	Civil	Suma
Investigación y desarrollo	203	44	232	137	232	206	667	387	1045
Educación y capacitación	31	-	18	-	19	-	73	-	73
Infraestructura	64	28	28	11	23	10	116	49	165
Total	298	72	284	148	274	216	856	436	1291

Tabla III.23.

Las estrategias que se siguieron, en diversos aspectos, se detallan a continuación.

En investigación y desarrollo, se enfocó la inversión en áreas con un desarrollo comparativo estratégico, consolidando la tecnología basada en nanotecnología; induciendo más inversión hacia el sector civil.

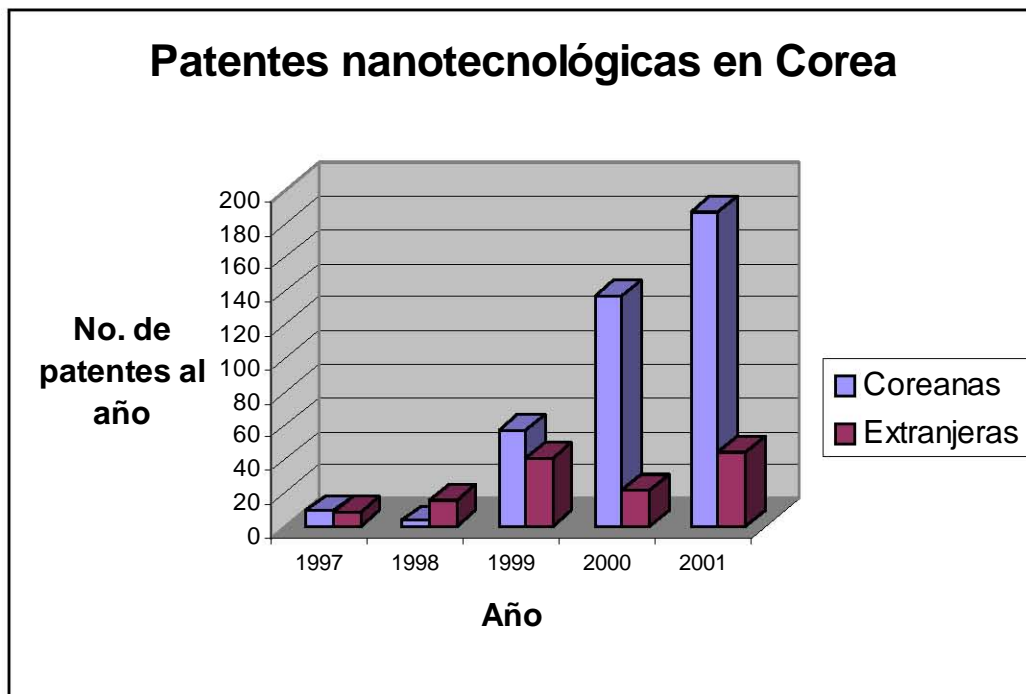
- Cinco nuevos proyectos de frontera (con 9 millones de dólares por equipo al año)
- Programa Nano Core Tech (10 tecnologías seleccionadas con dos millones de dólares por equipo al año)
- Programa de financiamiento, (20 sujetos seleccionados, un millón de dólares por equipo al año)

En cuanto a programas de educación y programas de capacitación, se cuenta con un programa interdisciplinario de nanociencia y nanotecnología, así como con varios programas de cooperación entre universidades, la industria y laboratorios nacionales. También se tienen algunos programas de intercambio internacional.

El gobierno ha lanzado también programas de investigación los cuales tienen un presupuesto de cerca de 20 millones al año por los siguientes 6 a 9 años. En cuanto al establecimiento de infraestructura para investigación y desarrollo, se estableció un centro de nanofabricación en 2002, con el propósito principal de la fabricación de dispositivos a la nanoescala en el Instituto de Ciencia y Tecnología Avanzada de Korea (KAIST, por sus siglas en inglés) en la ciudad Science Daejeon en donde se localizan muchos laboratorios de investigación gubernamentales. Un total de US \$165 millones han sido destinados para este centro en un periodo de 9 años (2002-2010).

El gobierno ha formulado recientemente el “Plan de acción para el desarrollo de nanotecnología 2003” el cual incluye el “Decreto Presidencial y Reglamentación”, para la realización del “acto de Promoción de desarrollo de Nanotecnología. El propósito es preparar una investigación básica sólida para la nanotecnología y para la prometedora industrialización de la nanotecnología en un estado maduro. El gobierno coreano también destinó US \$380 millones (19% del total del gasto en nanotecnología) en el “Programa Nacional de Nano Industrialización”, incluyendo fondos para la investigación y desarrollo industrial y fondos para capital de riesgo.

La oficina de patentes de Corea reportó en 2002 que ha habido un incremento drástico en el número de patentes desde 1999



Gráfica III.6.

El número de “Star-ups” en nanotecnología también se ha incrementado substancialmente durante los últimos años. El ministerio de Comercio, Industria y Energía (MOCIE) dirigió la investigación al estatus de compañías de riesgo en

Corea en nanotecnología y la siguiente tabla es un sumario de las principales compañías de capital de riesgo establecidas hasta 2002.

Empresas de riesgo en nanotecnología	
Nombre	Tópicos
Nanonex	Nanopolvos, cerámicos
Nanonix	Magnetismo, polvos
Nanotech	Nanopartículas
Nanopac	Fotocatálisis
Nanotech Korea	Nanocompuestos
Biosera	Agentes microbianos, materiales para la agricultura
PSIA	Microscopios de escaneo avanzados (SPM)

Tabla III.24

Como parte de la construcción de la principal infraestructura nacional, el National NanoFab Center (NNFC) es financiado por el Ministerio Coreano de Ciencia y Tecnología (MOST, con 165 millones de dólares para el periodo comprendido entre 2002 y 2010, y es dirigido por el Instituto Coreano de Evaluación de Políticas en Ciencia y Tecnología (KISTEP, Korea Institute of Science and Technology Evaluation Policy). El gasto total del NNFC esta cerca de 290 millones de dólares incluyendo equipo de investigación, construcción de fabricación, operación y mantenimiento, tierra, equipo para laboratorios satélite y otros.

III.8 América Latina

Varios países de América Latina han previsto la necesidad de responder ante la tendencia tecnológica actual. Así, por ejemplo, Argentina y Brasil están buscando la manera de construir un centro conjunto de investigación en nanociencias y nanotecnología. Esto lo anunció el presidente de Brasil Luiz Inacio Lula da Silva durante una visita al Laboratorio Nacional de Luz Sincrotron (LNLS) de Campinas, Brasil, en la que delineó los detalles del programa nacional de esta disciplina, con un presupuesto de 71 millones de reales (unos 30 millones de dólares) para el período 2005-2006. Costa Rica, por su parte, se distingue uno de los países poseedores de un laboratorio en nanotecnología.

III.8.1 Argentina

Argentina está entrando en un proceso de concientización y toma de decisiones referentes a la nanotecnología. Las declaraciones del Ministerio de Economía ponen de manifiesto el esfuerzo que el gobierno argentino planea hacer a favor del futuro desarrollo de un plan de nanotecnología para Argentina. Las primeras acciones incluyen colaboraciones internacionales con la Unión Europea y el establecimiento de alianzas estratégicas con empresas estadounidenses.

Argentina está trabajando en conjunto con la Unión Europea en el desarrollo y realización de talleres de trabajo con el tema de la nanotecnología, nanociencia y nanomateriales para establecer proyectos y redes de colaboración entre las comunidades de investigación argentinas y europeas, en el contexto de los programas de investigación de la Unión Europea, y para informar a los investigadores argentinos sobre las posibilidades de financiación en el contexto de los Programas Marco de Investigación de la Unión Europea (EU).

Las actividades de Argentina en materia de nanotecnología también están auspiciadas por compañías norteamericanas. Según una nota de Empresas News⁵⁴, Lucent Technologies participará en el diseño de un programa para incentivar en Argentina el desarrollo de la nanotecnología para la fabricación de componentes microscópicos. Se planea hacer inversiones para la fabricación de componentes microscópicos; Lucent Technologies permitirá que se produzcan estos componentes en sus laboratorios. La empresa norteamericana inició estas actividades bajo el auspicio del Ministerio de Economía argentino.

III.8.2 Costa Rica

De acuerdo con información reciente, el Laboratorio Nacional de Nanotecnología, Microsensores y Materiales Avanzados (LANOTEC⁵⁵) llevará a cabo actividades alrededor de tres ejes principales:

- Investigación científica y tecnológica de alto nivel en el área de la microtecnología y nanotecnología, enfocado en nanoestructuras, microsensores y materiales avanzados.
- Sirve de centro-laboratorio para la educación y formación en micro y nanotecnología en colaboración con las instituciones y programas académicos.
- Establece alianzas estratégicas con industrias de alta tecnología, tanto nacionales como extranjeras para colaboración en la investigación y la elaboración de productos o servicios especializados.

Esta iniciativa es apoyada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICIT), el Consejo Nacional de Rectores (CONARE), el Centro Nacional de Alta Tecnología (CENAT) y la Industria de Alta Tecnología, así como de instituciones internacionales como la (NASA). La primera fase del proyecto fue financiada por la Fundación Costa Rica Estados Unidos, la Funcenatel y el Fondo de Incentivos del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICIT).

LANOTEC está ubicado en el Centro Nacional de Alta Tecnología (CENAT) y su estructura consta de 300 m² con oficinas, cuartos de laboratorio y un cuarto limpio

⁵⁴ Con información de <http://weblogs.cfired.org.ar/blog/archives/001088.php> y <http://www.averlo.com/notas/economia/noviembre2004/061104.html>

⁵⁵ <http://www.itcr.ac.cr/informatec/setiembre/n15.htm>

equipado plenamente para trabajar en la construcción y pruebas de dispositivos con instrumentos microscópicos digitales.

III.8.3 Brasil

El gobierno de Brasil considera que la nanotecnología es un área estratégica. La iniciativa brasileña para la nanotecnología inició en 2001, cuando se reunieron varios grupos de investigadores de alto nivel con varias instituciones académicas y en centros nacionales de investigación. Se crearon cuatro redes de investigación con financiamiento inicial provisto por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, a través del Consejo Nacional para el Desarrollo Científico y Tecnológico. También se inauguraron dos institutos virtuales. El presupuesto total para nanociencia y nanotecnología fue de cerca de siete millones de dólares para 2004, y el presupuesto estimado para el periodo 2004-2007 es de unos 25 millones de dólares.

Alrededor de 400 científicos están trabajando en nanotecnología, en Brasil; sus actividades están enfocadas en la nanobiotecnología, nanomateriales, nanopartículas biodegradables para la administración de medicamentos, nanotecnologías para óptico-electrónica, biosensores, bioingeniería y nanocristales magnéticos⁵⁶.

Entre las actividades que contempla el programa entre Argentina y Brasil figuran la ejecución de proyectos cooperativos de investigación entre empresas y centros científicos, el establecimiento de un conjunto de laboratorios estratégicos enfocados en la innovación y el uso compartido de equipos capaz de dar amplio respaldo al rápido desarrollo de aplicaciones de la nanotecnología consideradas relevantes para Brasil y acciones de cooperación internacional "en especial entre Brasil y la Argentina, país con el cual deberá ser creado un Centro Binacional de Nanotecnología", afirmó el presidente de Brasil, Luiz Inacio Lula da Silva.

La idea de este emprendimiento conjunto surgió en noviembre pasado como fruto de la reunión organizada en la Rural (predio de exposiciones de la Sociedad Rural de Argentina, en Buenos Aires) por las asociaciones para el avance de la ciencia de ambos países.

En esa ocasión un grupo de especialistas en esta área de la ciencia propuso la formación del centro de investigación y la creación de por lo menos cuatro escuelas para la formación de recursos humanos, dos en la Argentina y dos en Brasil. Para esto se planteó la posibilidad de traer a destacados investigadores a través del Programa Raíces, un programa de repatriación de científicos argentinos residentes en el extranjero⁵⁷.

⁵⁶ <http://www.issues.org/21.4/singer.html>

⁵⁷ <http://axxon.com.ar/not/153/c-1530345.htm>

Todos estos países han hecho una apuesta fuerte al desarrollo de nanotecnología; conocer esta situación mundial nos permitirá evaluar de una manera más clara el estado de la nanotecnología en México, nuestra siguiente materia de estudio.

Capítulo IV

Nanotecnología en México

El presente capítulo pretende ofrecer un panorama general de la investigación y desarrollo en nanociencia y nanotecnología en México; así pues, comenzaremos dando una breve introducción sobre el cómo se ha ido desarrollando nuestro país a través de los últimos años en los ámbitos científico y tecnológico, así como la política económica que ha adoptado el gobierno con respecto a los mismos. Después de presentar dichos indicadores, haremos un análisis de la situación actual en México y el impacto que tiene el desarrollo de la tecnología a la nanoescala, el cual es nuestro tema de estudio. Nuestro afán es establecer las bases que permitan al lector visualizar la necesidad de adoptar medidas que permitan superar el rezago que vemos y vivimos todos los mexicanos.

Cabe destacar que, en el transcurso de este capítulo, presentamos sólo la información que está disponible, ya que lamentablemente no contamos con una muy amplia gama de fuentes: así, hicimos una investigación en internet, identificando artículos y estudios serios relacionados con la nanociencia y nanotecnología de nuestro país; además, entrevistamos a sólo algunos científicos dedicados a este campo del conocimiento. Reconocemos, por lo tanto, que los datos que ofrecemos podrían no ser del todo exactos, sobre todo en las estadísticas de elaboración propia. Es importante mencionar también que una buena parte de la inspiración necesaria para la redacción de este capítulo se generó a raíz de nuestra visita al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), en el marco del Tercer Congreso de Nanociencia y Nanotecnología, en mayo de 2004.

IV. 1 Ciencia y Tecnología en México. Situación actual.

Ya en abril de 2004, la Presidencia de la Comisión de Ciencia y Tecnología, en su Informe de actividades¹ correspondiente al lapso comprendido entre septiembre de 2003 a febrero de 2004, habla de la ciencia y tecnología como motores fundamentales del desarrollo económico nacional, y advertía sobre la necesidad de aumentar la inversión en desarrollo científico y tecnológico para llegar por lo menos al 1% del PIB. De acuerdo con datos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), en el año 1970 México se encontraba en una posición favorecida con respecto a la de países como Corea, España y Brasil; hoy, 36 años después, estos países han presentado un crecimiento en sus inversiones dedicadas a ciencia y tecnología, derivando en un fortalecimiento generalizado.

¹ Presidencia de la Comisión de Ciencia y Tecnología; Informe de actividades septiembre 2003 – febrero 2004 (resumen ejecutivo)
http://www.cddhcu.gob.mx/comisiones59legislatura/ciencia_tecnologia/web/docs/informe.ppt

Ambos comportamientos parecen estar estrechamente ligados; una fuerte apuesta a la tecnología y el crecimiento económico de los países. En este sentido, la citada comisión puntualiza, al hacer la comparación entre los países desarrollados y México, que “...Las cifras son evidentes, y existen muchos mas indicadores al respecto que comprueban que la inversión en ciencia y tecnología es un detonador económico, que no solo estimula el crecimiento, sino además la productividad, la competitividad y el ingreso per cápita, lo cual redundo en creación de empleos de alto valor agregado y por ende en mayor bienestar²”.

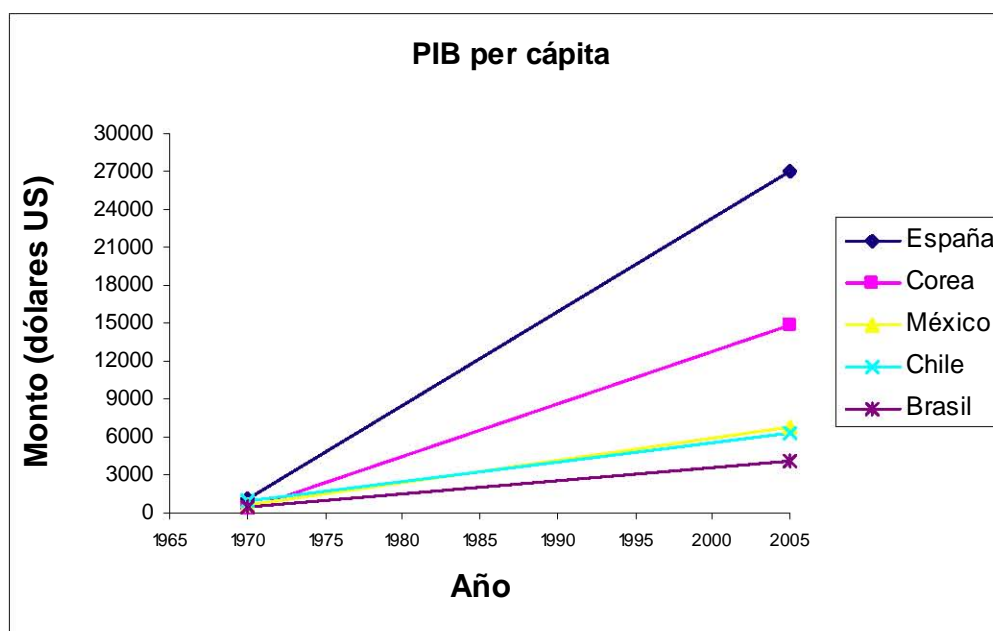


Figura. IV.1. Comparación entre el ingreso per cápita de algunos países.
 “Los datos usados para la elaboración de esta gráfica se pueden encontrar en las siguientes páginas de internet³”.

Los países de primer mundo han comprometido fuertes inversiones a favor del desarrollo de la ciencia y la tecnología, como porcentaje del PIB nacional. Al respecto, la Presidencia de la Comisión de Ciencia y Tecnología señala que “...Hoy en día, ningún gobierno cuestiona la importancia estratégica de la inversión en ciencia y tecnología. Ha sido, es y será, una prioridad de gobiernos con economías centralmente planificadas, capitalistas o mixtas. Aunque las teorías sobre la formación de "capital humano" son recientes, los estudios realizados coinciden en que la generación y difusión del conocimiento enriquece vidas privadas, forma ciudadanos integrales y tiene un efecto directo en la productividad

² Presidencia de la Comisión de Ciencia y Tecnología; Informe de actividades septiembre 2003 – febrero 2004 (resumen ejecutivo)

http://www.cddhcu.gob.mx/comisiones59legislatura/ciencia_tecnologia/web/docs/informe.ppt

³ http://earthtrends.wri.org/searchable_db/results.php?theme=5&years=all&variable_ID=638&cid=&ccid=&years_rev=1.

http://es.wikipedia.org/wiki/Lista_de_pa%C3%ADses_por_PIB_%28nominal%29_per_c%C3%A1pita.

económica⁴”. Se señala, además, que, aún considerando las difíciles condiciones de vida de la mayoría de los mexicanos, “es indispensable hacer un esfuerzo para que sean destinados mayores recursos a la ciencia y la tecnología⁵ “

País	GIDE en Millones de PPP corrientes	GIDE como porcentaje del PIB
		%
Suecia (2001)	9,888.70	4.27
Japón (2001)	103,846.40	3.06
Corea (2001)	22,009.10	2.92
E.U.A.	277,099.90	2.67
Alemania	55,054.90	2.51
Francia	36,143.80	2.2
Reino Unido (2001)	29,353.50	1.89
Canadá	17,340.20	1.82
China	72,076.80	1.29
Italia (2000)	15,475.30	1.07
España (2001)	8,227.20	0.96
México	3,778.30	0.4

Tabla IV.1. Gasto Interno en Investigación y Desarrollo Experimental (GIDE) por país, para 2002. PPP significa Paridad del Poder de Compra; es la tasa de conversión de moneda que elimina las diferencias en niveles de precios entre países. Fuente: INEGI-Conacyt, Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Experimental.

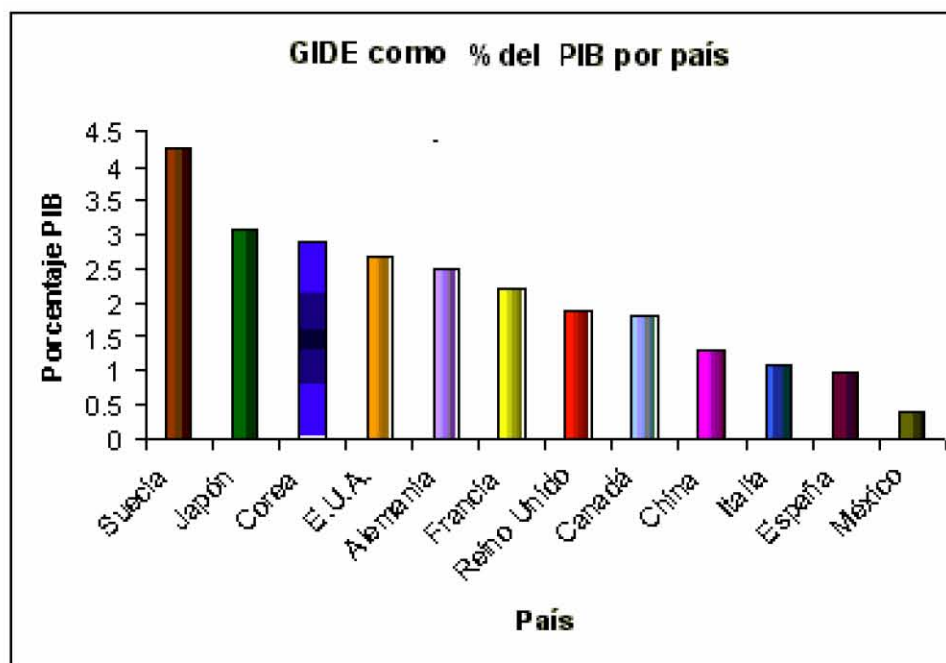


Figura IV.2. GIDE por país. Fuente: Indicadores en Ciencia y Tecnología, 2004. CONACYT

⁴ Presidencia de la Comisión de Ciencia y Tecnología; Informe de actividades septiembre 2003 – febrero 2004 (resumen ejecutivo)

http://www.cddhcu.gob.mx/comisiones59legislatura/ciencia_tecnologia/web/docs/informe.ppt

⁵ Ídem

Hoy en día el porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) dedicado a la ciencia y tecnología sigue siendo menor al 0.5. CONACYT, como organismo responsable de la política científica y tecnológica en nuestro país, se ha manifestado a favor de alcanzar un mayor nivel de inversión en ciencia y tecnología; así, se ha establecido la meta de que a partir de 2006 se destine el 1 por ciento del PIB a la investigación y desarrollo experimental. El comportamiento del PIB destinado a ciencia y tecnología se muestra en la siguiente gráfica;

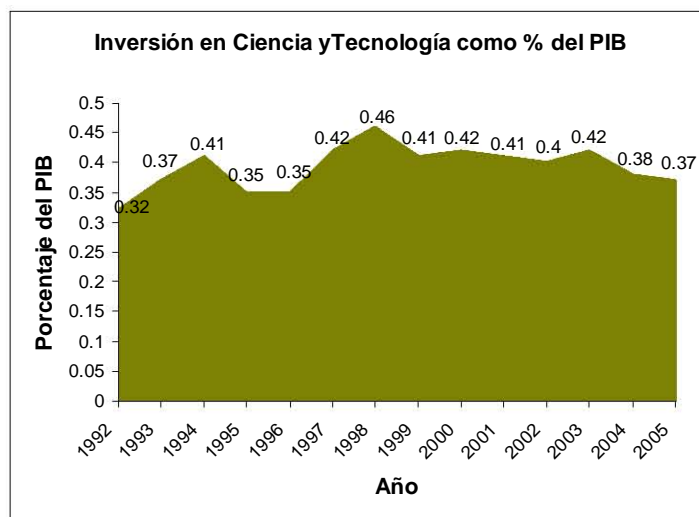


Figura IV.3 Gráfica del % del PIB anual dedicado a Ciencia y Tecnología en México. Fuente: CONACYT

A simple vista podemos decir que la meta de designar el uno por ciento del PIB a la tecnología aún se ve lejos.

GASTO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA POR SECTOR DE FINANCIAMIENTO 2002 (Millones de pesos)

<i>Actividad</i>	<i>Sector Público Total Conacyt</i>	<i>IES</i>	<i>Sector Privado</i>	<i>Sector Externo</i>	<i>Total</i>	<i>%</i>	<i>% PIB</i>
GIDE	15,163.0 2,487.0	1,770.2	7,680.7	247.1	24,861.0	57.3	0.40
GEECYT	5,357.0 1,673.0	667.5	509.3		6,533.8	15.0	0.11
GSCYT	4,435.0 361.7	211.2	7,382.6		12,028.8	27.7	0.20
TOTAL	24,955.0 4,521.8	2,648.8	15,572.6	247.1	43,423.6	100.0	0.71

Tabla IV.2. Gasto nacional en ciencia y tecnología por sector de financiamiento para 2002, de acuerdo con los datos de CONACYT. GIDE; Gasto Interno en Investigación y Desarrollo Experimental. GEECYT; Gasto en Educación y Enseñanza Científica y Tecnológica. GSCYT; Gasto en Servicios Científicos y Tecnológicos

La diferencia entre otros países y México no se limita a los montos; también alcanza a la distribución. Este punto constituye una fibra delicada en las discusiones entre científicos e investigadores del país; así, mientras algunos hablan de la necesidad de concentrar esfuerzos en la investigación aplicada (también conocida como práctica o empírica, que se caracteriza por buscar la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren) , dado que “existen algunas disciplinas científicas que en la búsqueda de inserción y reconocimiento global, se encuentran menos comprometidas con el desarrollo nacional... muy a menudo los objetivos de sus estudios están regidos por las tendencias de investigación vigentes en países desarrollados⁶”; otros defienden la idea de generar investigación básica (también conocida como pura, teórica o dogmática, que se caracteriza por partir de un marco teórico y permanecer en él), argumentando que “la investigación básica simplemente es... su razón de ser no es servir, o ser productiva⁷”. En esta forma de pensamiento “...es probable que quienes nunca han tenido un contacto real con la ciencia no se percaten de su esencia, la cual va más allá de cualquier aplicación.⁸”. Existe, por otra parte, la investigación experimental o desarrollo experimental (siendo aquella que obtiene su información de la actividad intencional del investigador de modificar la realidad con el propósito de crear el fenómeno mismo que se indaga, y así poder observarlo), la cual, de acuerdo con los datos del Main Science and technology Indicators, se le destina el menor porcentaje de la inversión en ciencia y tecnología en nuestro país.

De esta manera, mientras que países como Corea y los Estados Unidos destinan la mayor parte de su gasto en ciencia y tecnología al desarrollo experimental, México ocupa su mayor porcentaje en la investigación aplicada. Por supuesto, sería inexacto comparar solo porcentualmente estos datos, ya que, como el lector podrá imaginar, la diferencia entre las magnitudes (en dinero corriente) que dedican estos países al desarrollo de ciencia y tecnología, es abismal.

País	Investigación básica	Investigación aplicada	Desarrollo experimental	Total
México (1997)	23.30	47.70	29.00	100
España (1998)	22.80	38.80	38.40	100
Corea (1997)	13.30	28.50	58.20	100
EUA (1999)	16.30	22.90	60.80	100

Tabla IV.3. Distribución porcentual del gasto en Ciencia y Tecnología de países seleccionados.
Fuente: OECD. Main Science and technology Indicators, No. 1, 2001

⁶ Uribe Alcocer, Manuel, *Valoración de la Investigación Aplicada a los Problemas Nacionales*, Seminarios de Diagnostico Locales, en Internet <http://www.congreso.unam.mx/ponsemloc/ponencias/133.html>

⁷ Jesús Guillermo Contreras Nuño, *El valor intrínseco de la investigación básica*, Revista Avance y Perspectiva, pag. 122 o en Internet www.cinvestav.mx/publicaciones/avayper/marjun03/Nuno.pdf

⁸ Ídem

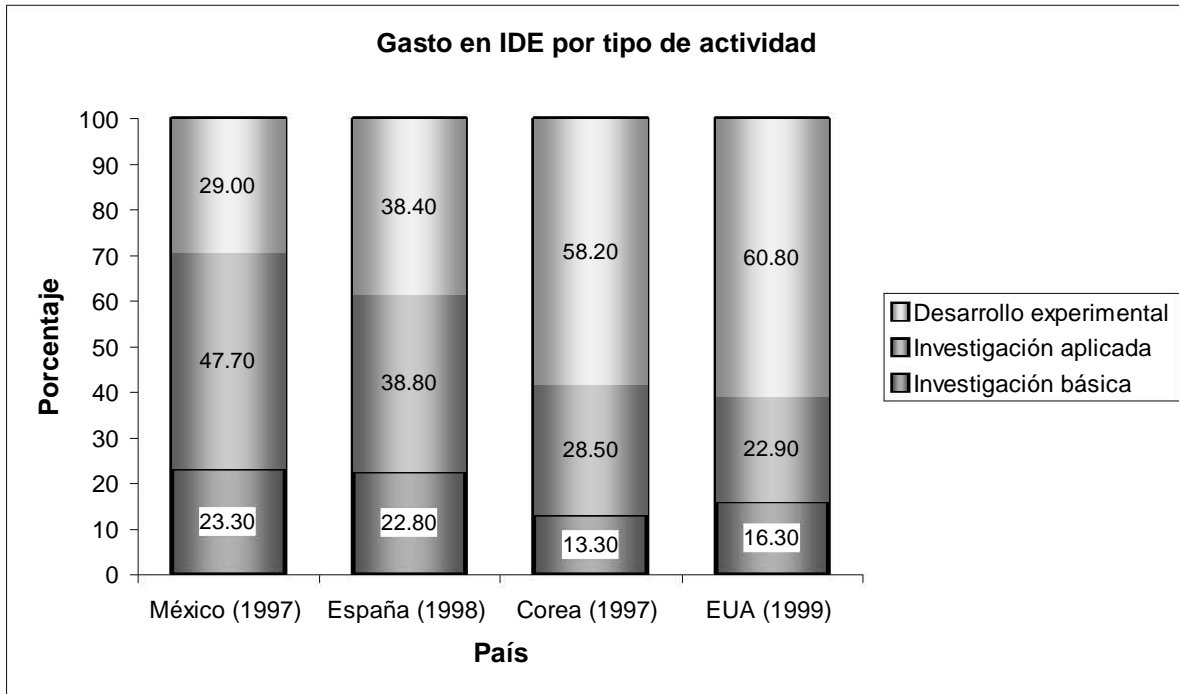


Figura IV.4. Fuente: OECD. Main Science and technology Indicators, No. 1, 2001

Así pues, en nuestro país, la ciencia y tecnología a la nanoescala han sufrido la misma suerte, en cuanto a inversión de recursos se refiere. Con todo, y pese a la falta de un programa estructurado que incluya la participación tanto del gobierno como de la iniciativa privada, han surgido grupos de investigación, en varias instituciones nacionales, que han tenido la visión de dedicar sus esfuerzos a la que promete ser la ciencia y la tecnología de nuestro tiempo. Estos científicos están enfocando sus actividades al desarrollo de nanociencia, mediante la participación en convocatorias de investigación para obtener becas y financiamiento, además de la organización de seminarios, talleres y conferencias, para dar a conocer sus líneas de investigación y los resultados de su trabajo, para establecer alianzas con investigadores nacionales e internacionales y captar nuevos talentos. Más adelante detallaremos estas afirmaciones.

IV.2 Nanociencia y nanotecnología en México. Situación actual.

La ciencia a la nanoescala constituye la investigación básica necesaria para sustentar el desarrollo nanotecnológico; implica la generación del conocimiento, mismo que se traduce en productos útiles. Los científicos e investigadores de nuestro país han demostrado que la nanociencia generada en México puede competir con la de cualquier parte del mundo, superando las limitantes en cuanto a infraestructura y apoyo financiero se refiere.

De acuerdo con los resultados arrojados por nuestra investigación en internet, México cuenta con por lo menos 174 investigadores relacionados en el tema de la nanociencia y la nanotecnología, distribuidos de la siguiente manera:

INVESTIGADORES POR INSTITUCION	
UNAM	97
IPN	50
IPICyT	10
IMP	7
UASLP	5
UAM	5
Total	174

Tabla IV.4. Investigadores en nanociencia y nanotecnología en México, resultado de nuestra búsqueda en internet

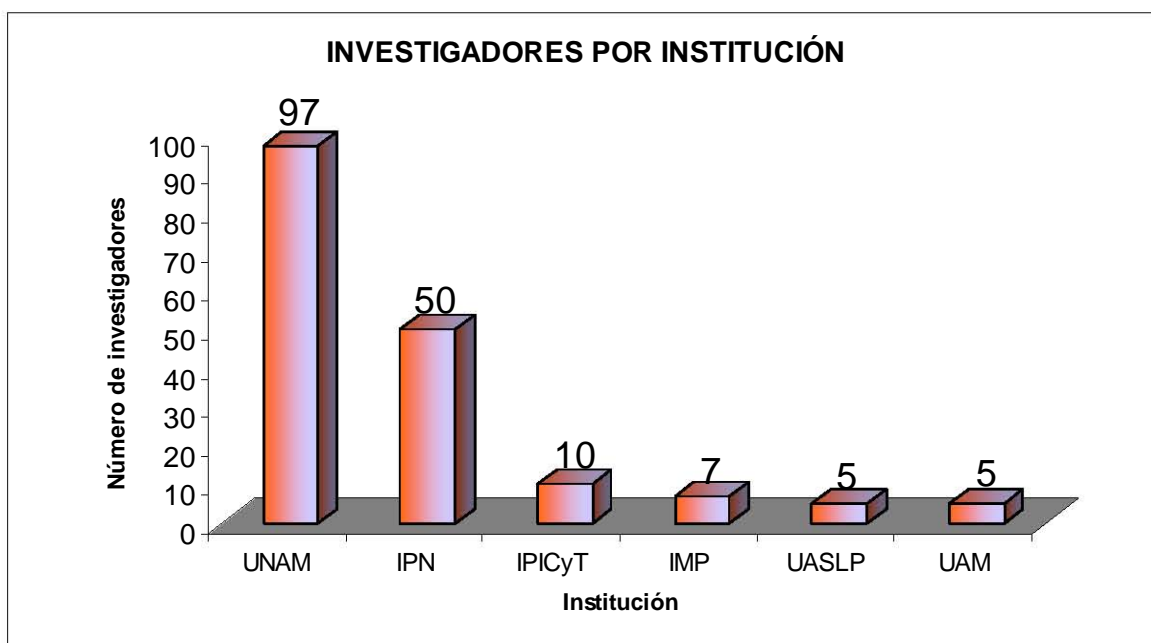


Figura. IV.5. Investigadores en nanociencia y nanotecnología en México, resultado de nuestra búsqueda en internet

El esfuerzo de estos investigadores mexicanos ha dado como resultado publicaciones, tanto de carácter nacional como internacional en el área de nanociencia y nanotecnología. A continuación se muestra un listado de algunos investigadores mexicanos que cuentan con publicaciones en esta área. Cabe destacar que los datos que se muestran a continuación podrían no ser del todo exactos, ya que la información que se considero para elaborar la siguiente tabla, fue tomada de la currícula de los investigadores, que se encuentra publicada en sus páginas personales, en internet, existiendo el riesgo de no estar totalmente actualizadas, y en algunos casos no contar con información.

Sin embargo consideramos que esta información, con todo y sus deficiencias, nos permite establecer un somero panorama, en cuánto a la publicación de artículos de los investigadores dedicados a la nanociencia y la nanotecnología

Investigador	No. de Publicaciones	Institución a la que pertenece
Dr. José Luís Morán López	70	IPICyT
Dr. Humberto Terrones Maldonado	32	IPICyT
Dr. Mauricio Terrones	27	IPICyT
Dr. Haret-Codratian Rosu Barbus.	25	IPICyT
Dr. Florentino López Urías	24	IPICyT
Dr. José Luís Rodríguez López	21	IPICyT
Dr. Román López Sandoval	21	IPICyT
Dr. Emilio Muñoz Sandoval	20	IPICyT
Dr. Fernando Jaime Rodríguez Macías	5	IPICyT
Dra. Yadira Itzel Vega Cantú	3	IPICyT
Dr. Víctor Castaño	90	CFATA
Dr. Witold Konrad Brostow	12	CFATA
Dr. Achim Max Loske Mehling	10	CFATA
Dr. Rufino Nava Mendoza	1	CFATA
Dr. José Luís Aragón Vera	53	CFATA
Dr. Francisco Fernández Escobar	3	CFATA
Dra. Genoveva Hernández Padrón	10	CFATA
Dra. Beatriz Marcela Millán Malo	1	CFATA
Dra. Maria Antonieta Mondragón Sosa	1	CFATA
Dr. Miguel Ángel Ocampo	2	CFATA
Dra. Alicia Oliver	5	IF
Dr. Juan Carlos Cheang	4	IF
Dr. Luís Rodríguez	4	IF
Dr. Alejandro Crespo	3	IF
Dra. Cecilia Noguez	5	IF
Dr. Ignacio Garzón	5	IF
Dr. Rolando Castillo	20	IF
Dr. Alipio Calles Martínez	10	FC

Tabla IV.5. Publicaciones por investigador. Esta tabla fue realizada con la información disponible en internet, así que probablemente se hayan omitido algunas publicaciones.

Mientras la nanociencia desarrollada en México ha demostrado poseer las características necesarias para aparecer en las más prestigiadas revistas científicas internacionales, la nanotecnología (esto es, la aplicación práctica de la nanociencia) avanza a pasos más lentos. Con todo, podemos citar el trabajo que se está realizando en nuestro país, y que promete tener aplicaciones comerciales importantes.

INSTITUCIONES LOCALIZADAS QUE TRABAJAN EN NANO EN MEXICO	DEPARTAMENTOS O DEPENDENCIAS	INVESTIGADORES RELACIONADOS CON NANO	PUBLICACIONES ENCONTRADAS EN INTERNET	TOTAL DE INVESTIGADORES			
UNAM	CFATA	Victor Castaño	90	10			
		Witold Konrad Brostow -	12				
		Achim Max Loske Mehling	10				
		Rufino Nava Mendoza	1				
		José Luis Aragón Vera	53				
		Francisco Fernández Escobar	3				
		Genoveva Hernández Padrón	10				
		Beatriz Marcela Millán Malo	1				
		Maria Antonieta Mondragón Sosa	1				
		Miguel Ángel Ocampo	2				
	IF	Grupo Formación y propiedades ópticas de nanopartículas metálicas producidas por implantación de iones	Alicia Oliver	5	47		
			Juan Carlos Cheang				
			Luis Rodríguez				
			José Luis Ruvalcaba				
			Alejandro Crespo				
		Jannier Roiz					
		Grupo Caracterización y propiedades ópticas de nanoestructuras: teoría y	Cecilia Noguez	6			
			Alejandro Reyes Esqueda				
			Carlos Román				
		Grupo Nanofónica de geles	Jorge García Macedo	2			
			Ma. Guadalupe Valverde Aguilar				
		Grupo Física computacional de materiales	Victor M. Rentería Tapia	5			
			Luis A. Pérez				
			Karo Michaelian				
		Grupo Estructura y organización de fluidos complejos	Marcela R. Beltrán	20			
			Ignacio L. Garzón				
		Grupo nanomáquinas y heteroestructuras	Rolando Castillo	4			
			Cristina Garza				
	Salvador Ramos						
	Raúl Esquivel Sirvent						
	Cecilia Noguez						
	Grupo sistemas nanoestructurados con aplicación	Guillermo Monsivais	4				
		Antonio Gómez					
	Grupo Propiedades catalíticas de nanoestructuras	Rubén Santa María	4				
		Patricia Santiago					
	Grupo Caracterización estructural por técnicas de microscopía electrónica de sistemas	Jesús Arenas	6				
		Pablo Schabes					
		Rubén G. Barrera					
	Grupo Propiedades ópticas de nanopartículas coloidales y compositos	A. García-Valenzuela	4				
		Jean Claude Auge					
		Yves Borenstein					
		Guillermo Ortiz					
	Grupo Orden atómico local en nanocristales	Jim Bokhimi	5				
		Antonio Morales					
		Manuel Aguilar					
	Grupo de nanobiología	Germinal Cocho	3				
		Victor Romero					
	Grupo Películas delgadas nanoestructuradas	José Luis Mateos	2				
		Dwight R. Acosta					
		Arturo Maldonado					
	Grupo Propiedades ópticas de nanoestructuras	Carlos R. Magaña	5				
		Héctor O. Murrieta S.					
		José Manuel Hernández A.					
		Enrique Camarillo G.					
	CCADET	Cristina Flores J.	27	7			
		Oleg Kolokoltsev					
		Celia Angelina Sánchez Pérez					
		Elena Golovatyaya Dzhybbeeva					
		Maria del Rocío Rendón de la Fuente					
		José Manuel Saniger Blesa					
		América Rosalba Vázquez Olmos					
		Rodolfo Zanella Specia					
		IIM			Alfredo Maciel Cerda	3	22
					Antonio Sánchez Solís		
	Armando Ortiz Rebollo						
	Chumin Wang Chen						
	Doroteo Mendoza						
	Francisco Morales						
	Leonel Rodríguez Gattomo						
	Guillermo Santana Rodríguez						
	José Chávez Carvayar						
	Juan Carlos Alonso Huitrón						
	Luis Castañeda Aviña						
	Luis Enrique Sansores Cuevas						
	Octavio Manero						
	Roberto Escudero						
	Serguei Fomine						
	Stephen Muhl Saunders						
	Takeshi Ogawa Murata						
	Cristina Piña Barba						
	Elizabeth Chavira Martínez						
	Mirna Rosa Estrada Yáñez						
	Patricia Guadarrama Acosta						
	Sandra Rodil Posada						
	CCMC	Gabriell Canto Santana	NO SE ENCONTRO REGISTRO EN INTERNET	8			
		José Valenzuela Benavides					
		Leonardo Morales de la Garza					
		Manuel Herrera Zaldívar					
		Miguel Avalos Borja					
		Noboru Takeuchi Tan					
	Oscar E. Contreras López						
	FC	Guadalupe Moreno	NO SE ENCONTRO REGISTRO EN INTERNET	3			
		Alipio Calles Martínez					
		Viviane Marquina Fábrega					
		Maria Luisa Marquina Fábrega					
	Total de Investigadores				97		

Tabla IV.6. Tabla resumen de investigación de nanotecnología en México, resultado de nuestra investigación en Internet.

INSTITUCIONES LOCALIZADAS QUE TRABAJAN EN NANO EN MÉXICO	DEPARTAMENTOS O DEPENDENCIAS	INVESTIGADORES RELACIONADOS CON NANO	PUBLICACIONES ENCONTRADAS EN INTERNET	TOTAL DE INVESTIGADORES
IPN	CINVESTAV MERIDA	Juan José	300	28
		Azamar Barrios, José Antonio		
		Bartolo Pérez, Pascual		
		Bouzas Arteché, Antonio		
		Castro Borges, Pedro		
		Castro Rodríguez, Román		
		Contreras Nuño, Guillermo		
		De Coss Gómez, Romeo		
		Díaz Ballote, Luis Felipe		
		Gupta, Virendra		
		Huerta Quintanilla, Rodrigo		
		Larios Forte, Francisco		
		Maldonado López, Luis		
		Moukarzel, Cristian		
		Mustre De León, José		
		Oliva Arias, Andrés Iván		
		Ortega Blake, Iván		
		Oskam, Gerko		
		Patricio Díaz, Rodrigo Tarkus		
		Pech Canul, Máximo		
		Peña Chapa, Juan Luis		
		Pérez Angel, Gabriel		
		Quintana Owen, Patricia		
		Ruiz Suárez, Jesús Carlos		
	Sánchez Colón, Gabriel			
	Sosa Villanueva, Víctor José			
	Vargas González, Cristina			
	Véleva Muleshkova, Lussián			
	CINVESTAV QUERETARO	Dr. José Luis Naredo V.	NO SE ENCONTRÓ REGISTRO EN INTERNET	22
		Dr. Gerónimo Arámbula Villa		
		Dra. Rebeca Castañedo Pérez		
		Dr. Francisco Javier Espinoza Beltrán		
		Dr. Juan de Dios Figueroa Cárdenas		
Dr. Jesús González Hernández				
Dr. Alberto Herrera Gómez				
Dr. Omar Jiménez Sandoval				
Dr. Sergio Joaquín Jiménez Sandoval				
Dr. Gabriel Luna Bárcenas				
Dr. Alejandro Manzano Ramírez				
Dr. Fernando Martínez Bustos				
Dr. Arturo Mendoza Galván				
Dr. Juan Fco. Pérez Robles				
Dr. Evgen Prokhorov				
Dr. Rafael Ramírez Bon				
Dr. Gerardo Torres Delgado				
Dr. Luis Gerardo Trápaga Martínez				
Dr. Yun Vorobiev Vasilievitch				
Dr. José Martín Yáñez Limón				
Dr. Juan Muñoz Saldaña				
Dr. Aldo Humberto Romero Castro"				
Total de Investigadores			50	
UAM IZT	Laboratorio de nanotecnología	Dr. Nikola Batina	NO SE ENCONTRÓ REGISTRO EN INTERNET	5
		Dra. Laura Galicia Luis		
		Total de Investigadores		5
UASLP	IF	Dr. Jesús Dorantes Dávila,	NO SE ENCONTRÓ REGISTRO EN INTERNET	5
		Dr. Faustino Aguilera Granja,		
		Total de Investigadores		5
IPICyT	Grupo de Materiales Avanzados	Dr. Florentino López Urias	24	10
		Dr. Humberto Terrones Maldonado	32	
		Dr. José Luis Morán López	70	
		Dr. Mauricio Terrones	27	
		Dr. Emilio Muñoz Sandoval	20	
		Dr. Haret-Codratan Rosu Barbus.	25	
		Dr. José Luis Rodríguez López	21	
		Dr. Román López Sandoval	21	
		Dr. Fernando Jaime Rodríguez Macías	5	
		Dra. Yadira Itzel Vega Cantú	3	
		Total de Investigadores		10
IMP	Programa de Ingeniería Molecular	Ascensión Montoya,	NO SE ENCONTRÓ REGISTRO EN INTERNET	7
		Marcelo Lozada y Cassou		
		Total de Investigadores		7
TOTAL GENERAL				174

Tabla IV.6. Tabla resumen de investigación de nanotecnología en México, resultado de nuestra investigación en Internet.

De acuerdo con el estudio del Dr. Volker Lieffering, "Study on the Nanotechnology and Microsystems Technology sector in Mexico"⁹, publicado por Malsch TechnoValuation en noviembre de 2004, México cuenta con once grupos de investigación en tres universidades y dos institutos de investigación, que se están desarrollando activamente en el campo de la nanotecnología; cerca de 90 científicos están comprometidos en investigaciones de gran importancia; y los principales tópicos de investigación son el desarrollo de nuevos materiales, propiedades de nanopartículas y de nanoestructuras, y los nanodispositivos.

Existe una estrecha relación entre los investigadores de nuestro país y científicos de Estados Unidos y Europa. Además, dos compañías mexicanas están trabajando abiertamente en nanotecnología. Estos son algunos de los resultados de uno de los primeros estudios hechos en el extranjero enfocados exclusivamente en el desarrollo nanotecnológico de México.

Uno de los desarrollos científicos más renombrados, en este campo, esta dado por la pintura antigraffiti; científicos mexicanos la desarrollaron y patentaron basándose en la aplicación de nanotecnologías. Otro de los datos arrojados por este estudio es que los campos de mayor aplicación potencial de los beneficios de la tecnología a la nanoescala son el de las energías renovables, la agricultura y el medio ambiente

Uno de los principales problemas en el desarrollo de nanotecnología en nuestro país, desde el punto de vista que los observadores internacionales, es el actual sistema de patentes y la fuga de cerebros. En nuestro intento por encontrar el porque de estas afirmaciones nos encontramos ante interesantes descubrimientos.

IV.2.1 Programas y subsidios

Nuestras pesquisas en fuentes oficiales de información estadística económica nos llevaron a concluir que, en el gasto dedicado a ciencia y desarrollo experimental, no existe ningún rubro dedicado exclusivamente a la nanotecnología, y que tampoco hay un programa de financiamiento nacional para desarrollo o investigación en nanociencia y nanotecnología, como los existentes en otros países. Con todo, las investigaciones y proyectos relacionados con las nanotecnologías encuentran apoyo financiero de diversas fuentes.

Con el propósito de apoyar las tareas de investigación de alta calidad y relevancia que realizan los investigadores y profesores de carrera, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) cuenta con el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), el cual administra un fondo específico para respaldar los presupuestos autorizados de cada uno de los

⁹ <http://www.malsch.demon.nl/> Todos los datos que referimos, contenidos en el estudio ,están en: <http://www.voyle.net/Guest%20Writers/Drs.%20Ineke%20Malsch/Malsch%202004-0001.htm>

proyectos aprobados por el mismo¹⁰. Cada año se convoca a los investigadores y profesores de carrera de tiempo completo de las distintas entidades académicas de la UNAM que estén interesados en presentar a concurso sus proyectos de investigación, cumpliendo con requisitos de “calidad, originalidad y profundidad académica”¹¹.

Existen también proyectos financiados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). A través de los Fondos CONACYT (que pueden ser sectoriales, mixtos, de cooperación internacional e institucionales) se tiene por objetivo coordinar esfuerzos con un efecto multiplicador en la generación del conocimiento, la innovación, el desarrollo tecnológico y la formación de recursos humanos así como en el fortalecimiento de la capacidad científica y tecnológica que requiere el país¹².

Existen también empresas transnacionales que han invertido fuertes sumas en el afán de crear las condiciones necesarias para el desarrollo de nanotecnología. Por ejemplo, Motorola donó una línea de producción completa -cuyo valor es de un millón de dólares- para la fabricación de dispositivos de microelectrónica, en lo que será el Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LNN), obra que costará 18 millones de dólares y que entrará en funciones en 2007. El LNN estará situado en Tonantzintla, Puebla, y quedará bajo la tutela del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)¹³. Aunque ciertamente la inversión de Motorola está destinada al desarrollo de microtecnología, el LNN tendría como fin último el desarrollo de nanotecnología. La norteamericana Intel también ha hecho inversiones en empresas mexicanas, como JackBe, en el afán de promover el desarrollo de las tecnologías del futuro (la biotecnología y la nanotecnología).

Con todo, muchos investigadores se han visto obligados o a realizar sus estudios con recursos muy limitados, obteniendo resultados verdaderamente sorprendentes, o a aprovechar las oportunidades que ofrecen las empresas y las instituciones extranjeras para continuar con sus investigaciones. Como ejemplo, una docena de científicos mexicanos están desarrollando, en el Instituto de Investigaciones Genómicas de Arizona, un chip de un tamaño poco más largo que un boleto de Metro, que diagnosticará en una hora el tipo de cáncer que pueda padecer un niño. Gerardo Jiménez, director del Instituto Mexicano de Medicina Genómica de la SSA (INMEGEN) —de donde proceden los científicos mexicanos que están trabajando en Arizona—, comentó que se trata del primer método diagnóstico en el mundo que fusionará la nanotecnología con la genómica y contendrá en su espacio todo un laboratorio microscópico¹⁴.

¹⁰ Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) Manual Operativo 2004 – 2005, Dirección General de Asuntos del Personal Académico, UNAM.
http://dgapa.unam.mx/papiit/mo_papiit_220605.pdf

¹¹ Convocatoria 2006 PAPIIT http://dgapa.unam.mx/papiit/conv_papiit200605.html

¹² Portal Web de CONACYT, <http://www.conacyt.mx>

¹³ *Costará 18 mdd el laboratorio nacional de nanotecnología*, La Jornada, 26 de enero de 2004.
<http://www.jornada.unam.mx/2004/01/26/037n1soc.php?origen=soc-jus.php&fly=1>

¹⁴ <http://www.cronica.com.mx/nota.php?idc=153764>

IV.2.2 Tópicos de investigación

Los científicos mexicanos han enfocado sus esfuerzos en varios tópicos de investigación, que básicamente se resumen en los siguientes:

Síntesis de Nanoestructuras



Tres investigadores de la Universidad Autónoma de Nuevo León, con el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y del programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica de la UANL, obtuvieron nanoestructuras de carbono mediante calentamiento por irradiación de microondas. La volatilización de grafito se llevó a cabo en un horno de microondas doméstico con una potencia de trabajo de 800 W y frecuencia de 2.45 Ghz, variando la potencia y el tiempo de calentamiento desde 20 hasta 60 minutos. Las muestras se prepararon a partir de grafito en polvo (99%). Se utilizó cuarzo como portamuestras para la sublimación del carbono y la acumulación de las nanoestructuras, pues éste permite el calentamiento hasta 1200°C. Para optimizar la sublimación se utilizó un catalizador el cual mejoró el proceso y promovió la formación de nanotubos en menos de 30 minutos¹⁵.

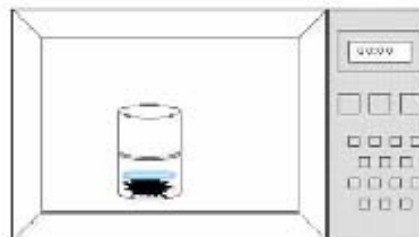
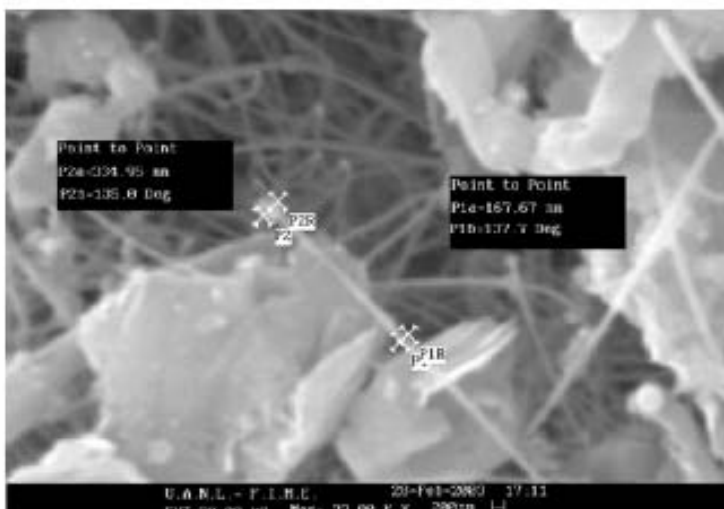


Fig. IV.6. Echando mano de un horno de microondas convencional los investigadores de la UANL lograron obtener nanotubos de carbono a partir de grafito.

Como conclusiones de este trabajo, se tiene que el método de volatilización de carbono mediante calentamiento por irradiación de microondas permite producir nanoestructuras tales como nanotubos de carbono, en un tiempo óptimo de 60

¹⁵ Vasilievna Kharissova, O, Robledo Jiménez, Claudia L., Ortiz Méndez, U, *Síntesis de nanoestructuras de carbono mediante microondas*, Ingenierías, Abril-Junio 2004, Vol. VII, No. 23.
http://ingenierias.uanl.mx/23/pdfs/23_p6a11_oxana.pdf

minutos. Los investigadores hallaron que la presencia de plata como catalizador permite disminuir el tiempo de calentamiento hasta 30 minutos y, mediante este método, lograron hacer crecer nanoestructuras de carbono alineado, de un diámetro de entre 168 y 400 nm. Aún más; los nanotubos de carbono formados sin presencia del catalizador presentaron puntas cerradas, pero los nanotubos formados con la presencia de las partículas catalíticas tienen las puntas abiertas que en su caso permiten el crecimiento de nanotubos más largos. La presencia de las puntas abiertas provoca que las partículas catalíticas a veces se alojen dentro de un nanotubo. El tamaño de las capas es 117 Å. A diferencia de los nanotubos procesados por otros métodos, el método de irradiación del grafito por microondas produce los nanotubos alineados los cuales no requieren la purificación que utilizan los otros métodos de procesamiento.

Materiales y Manufactura

Muchos científicos e ingenieros están enfocando sus esfuerzos en el desarrollo de materiales funcionales haciendo uso de la nanotecnología.

El Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ)¹⁶ está trabajando en el diseño y construcción de superficies modificadas con polímeros dendríticos. En esta área de trabajo se enfocan esfuerzos hacia el diseño y construcción de superficies modificadas con polímeros dendríticos. Estas moléculas, que pueden visualizarse como micelas¹⁷ unimoleculares, confieren a la superficie modificada una serie de propiedades novedosas que dependen de la estructura molecular del polímero y que han encontrado diversas aplicaciones en el área de la electroquímica. Así, ha sido posible preparar electrodos modificados que funcionan como sensores de cationes, como electrocatalizadores de reacciones importantes como la oxidación de alcoholes o la reducción de especies órgano-halogenadas en medio acuoso y para la preparación de membranas de intercambio iónico. La modificación de superficies con polímeros dendríticos, ha sido explotada también para el diseño y construcción de películas foto-activas orientadas al desarrollo de dispositivos de conversión de energía solar en energía eléctrica.

En el CIDETEQ se están sintetizando y caracterizando electrocatalizadores basados en metales de transición para las siguientes aplicaciones:

- Ánodos y cátodos para celdas combustible de electrolito polimérico.
- Ánodos y cátodos para celdas combustible de oxidación directa de metanol.
- Ánodos y cátodos para celdas de electrólisis que producen hipoclorito de sodio.
- Electrodos de difusión de gas para la industria cloro álcali.
- Electrodos para el tratamiento de efluentes.

¹⁶ <http://www.cideteq.mx>

¹⁷ Partícula que posee carga eléctrica; unidad básica del protoplasma.
<http://www.wordreference.com/definition/micelle>

Nanoelectrónica

Las investigaciones que efectúa el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) son quizá lo más representativo en materia de nanoelectrónica; estas investigaciones incluyen el desarrollo de nuevos materiales nanoestructurados para la manufactura de circuitos integrados y semiconductores amorfos (materiales no cristalinos) con aplicaciones en optoelectrónica¹⁸.

El Departamento de Electrónica del INAOE¹⁹ fue creado en el año de 1972 a la vez que fue fundado el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Es hasta 1974 cuando da inicio el posgrado en electrónica con la creación del Laboratorio de Microelectrónica. En este departamento se realizan actividades de investigación, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos en las áreas de dispositivos electrónicos, tecnología de fabricación de dispositivos y circuitos integrados en silicio, diseño de circuitos integrados, desarrollo de CAD, verificación de circuitos y sistemas electrónicos VLSI.

El departamento cuenta a la fecha con 26 Investigadores organizados en 4 grupos de investigación. 10 técnicos asignados a los diferentes laboratorios, quienes dan apoyo a los proyectos de investigación que actualmente se realizan. Cada año el departamento atiende un promedio de 55 estudiantes de Maestría y 30 estudiantes de Doctorado en las áreas de especialidad que aquí son ofrecidas. Y permite que estudiantes de otras universidades desarrollen su servicio social y tesis de licenciatura.

Actualmente el proyecto mas importante de la coordinación es la puesta en marcha del Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LNN), que ha iniciado con una línea de fabricación de circuitos integrados, donado por Motorola Inc., con un costo aproximado de un millón de dólares.

Medicina y Salud

Con la misión de "contribuir a un desarrollo justo, incluyente y sostenible, mediante la promoción de la salud y el acceso universal a servicios integrales de alta calidad", el gobierno mexicano elaboró el Programa de Acción: Investigación en Salud (PAIS), que eleva al rango de prioridad estratégica los esfuerzos de investigación en dicha área. Este programa fue presentado por el secretario de Salud, Dr. Julio Frenk Mora, y busca ofrecer oportunidades y recursos a los investigadores, en vinculación con las empresas y las agencias nacionales e internacionales que apoyan y financian la investigación, con el objetivo de generar conocimiento en las ciencias de la salud, difundirlo y aplicarlo, colocando al país en el ámbito de la competencia internacional²⁰.

¹⁸ Suplemento Investigación y Desarrollo, La Jornada <http://www.invdes.com.mx/cienciay.cfm?publicant=feb+2004>

¹⁹ <http://www-elec.inaoep.mx/>

²⁰ <http://invdes.com.mx/anteriores/Julio2002/htm/salud.html>

Dicho plan señala, respecto a la investigación biomédica, que “se han venido desarrollando varias líneas de investigación, entre las que destacan: estudio de la biología celular y molecular de los agentes microbianos y parasitarios, neurobiología, bioenergética, estudio de los efectos de agentes farmacológicos, biología de la reproducción, bioquímica del metabolismo intermedio, inmunología, estudio de mecanismos moleculares de padecimientos degenerativos, fisiología integrativa, microbiología, substrato biológico de trastornos neurológicos y psiquiátricos, desarrollo de vacunas y el desarrollo de procedimientos diagnósticos y terapéuticos²¹”. Sin embargo, se resalta la ausencia de otros, entre ellos, el de la nanomedicina.

“La nanotecnología traducida en nanomedicina potencializará los alcances que ya ha tenido la revolución biotecnológica, permitirá el desarrollo de sensores médicos para la transmisión y recepción de señales de alta sensibilidad y especificidad a nivel celular, con lo que incidirá en el tratamiento de los pacientes y mejorará sus perspectivas”.

Así, dicho documento pronostica que “de manera inevitable, en los próximos años veremos que los investigadores nacionales incursionarán en este campo en virtud de las extraordinarias posibilidades que ofrece. Es necesario prever la formación de recursos humanos y prepararnos para el advenimiento de los desarrollos de la nanotecnología²²”.

Medio Ambiente y Energía

El cuidado del medio ambiente se ha convertido en uno de los temas que requieren atención urgente, así como esfuerzos coordinados y comprometidos en este sentido. El Programa Nacional de Nanociencia y Nanotecnología Para Desarrollar Nuevas Bases Tecnológicas prevé que la nanotecnología “tiene un gran potencial para hacer que el consumo de energía sea más eficiente y menos contaminante. El diseño de nanocircuitos con bajo consumo de energía, la aplicación de nanoestructuras luminiscentes a la señalización, iluminación de áreas públicas, residenciales e industriales y en la elaboración de pantallas y avisos luminosos evitarán el desperdicio de energía que se presenta con las lámparas incandescentes. El diseño de nuevos catalizadores nanoestructurados permitirá mejorar la industria petroquímica nacional. El desarrollo de nuevos sensores de contaminantes permitirá tener un mejor control de emisiones. La participación de PEMEX en estos proyectos es fundamental²³”.

El 18 de octubre de 2004 el Dr. Juan Ramón de la Fuente, rector de la Universidad Nacional Autónoma de México, y el Dr. René Drucker Colín, Coordinador de la

²¹ <http://www.salud.gob.mx/unidades/cgins/insalud/publica/pais/PAIS-completo.pdf>

²² <http://www.salud.gob.mx/unidades/cgins/insalud/publica/pais/PAIS-completo.pdf>

²³ Programa Nacional de Nanociencia y Nanotecnología Para Desarrollar Nuevas Bases Tecnológicas, Septiembre de 2002, pag. 5.

<http://www.ipicyt.edu.mx/eipicyt/eventosynoticias/Reunion2002Nanotecnologia.pdf>

Investigación Científica de esta casa de estudios, presentaron en el museo Universum un nuevo programa, IMPULSA, que comprende cinco proyectos multidisciplinarios de investigación en áreas consideradas prioritarias para el país. Uno de estos se denomina “Nanocatalizadores para el mejoramiento del medio ambiente”.

Este proyecto busca aportar soluciones novedosas que contribuyan a la protección del ambiente, limitando el volumen de las sustancias contaminantes que se acumulan en suelos, ríos y lagos, y que afectan a la flora y fauna de la región. La tecnología estará basada en el uso de nanopartículas. En una primera etapa se planea determinar las propiedades estructurales, ópticas, electrónicas y químicas de las nanoestructuras. En fases posteriores se realizarán pruebas de campo, evaluación técnica y de factibilidad de las propuestas, y se planeará su aplicación de maneras diversas, como en el tratamiento de aguas o en la nanoelectrónica²⁴. En la UNAM la nanociencia recibe la atención de varias entidades desde la perspectiva de la física, química, biología e ingeniería de materiales. “Esta fortaleza académica representa un punto de partida ideal para iniciar una nueva forma de trabajo multidisciplinario, enfocándose al estudio de un problema específico como es el de la contaminación”²⁵, señala el doctor Alipio Calles, responsable del Laboratorio Interdisciplinario del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias (FC) de la UNAM y coordinador del proyecto antes mencionado.

Asimismo, en CIMAV se desarrolla una nueva generación de nanomateriales catalíticos con propiedades mejoradas para la protección del medio ambiente. Los nanocatalizadores de sulfuro de molibdeno poseen un área superficial elevada y fases catalíticas muy estables²⁶.

Ahora, uno de los principales focos de atención está constituido por la generación de energía de forma económica, rápida y sustentable. Así pues, también en este campo se están dedicando recursos humanos y materiales.

La industria petrolera se enfrenta a nuevas exigencias que deberá cumplir en corto y largo plazo, condicionada por un panorama global cambiante: debe optimizar recursos, mejorar sus sistemas productivos, reducir emisiones contaminantes y crear productos amables con el ambiente. En este proceso, la interacción del pensamiento con la investigación científica y el desarrollo tecnológico es imprescindible.

En este contexto, el maestro en ciencias Julián Castellanos Fernández, uno de los principales expertos del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), presentó la ponencia La refinería del futuro al participar en la Primera Conferencia Internacional sobre Biotecnología del Petróleo, acto al que acudieron expertos

²⁴ http://www.comoves.unam.mx/rafagas/73_impulso.html

²⁵ <http://www.invdes.com.mx/cienciay.cfm?publicant=dic%202004>

²⁶ <http://materials.ipicyt.edu.mx/nano/platicas/v1630.html>

mexicanos y extranjeros. Entre estos figuraron los doctores estadounidenses Briam Folsom, investigador en biodesulfuración de la Energy Biosystems Corporation, y Eugene Premuzic, quien trabaja en bioconversión de crudos pesados a ligeros en los Laboratorios Nacionales de Brookhaven; ambos son considerados los más destacados especialistas en sus respectivas materias de trabajo.

El maestro Castellanos abordó el terreno de la nanotecnología, explicando que "se tienen amplias expectativas de esta tecnología como herramienta para la separación y reacción catalítica. Los avances en esta materia ayudarán a promover los ensambles deseados en diseños particulares de materiales catalíticos con mejores propiedades de actividad, selectividad, resistencia mecánica y facilidad de regeneración"²⁷.

Biotechnología y Agricultura

La integración del material biológico y las propiedades de materiales inorgánicos ofrece un gran potencial para el diseño de nuevas estructuras con propiedades específicas. Imitar a las estructuras biológicas y su funcionamiento es un área de intensa investigación llamada química biomimética. Con base en lo anterior es claro que las Nanociencias contribuirán de forma relevante al avance en la agricultura, usando ingeniería molecular para diseñar químicos biodegradables para nutrir a las plantas, por ejemplo²⁸.

IV.2.3 Empresas trabajando con nanotecnología

De acuerdo con el estudio de Volker Lieffering, existen dos empresas trabajando activamente con nanotecnología; nos dimos a la tarea de encontrar a estas dos empresas, y a todas aquellas que estuviesen realizando trabajos al respecto.

COMEX²⁹ es una de las compañías que actualmente están comercializando un producto basado en la nanotecnología: es un recubrimiento para paredes y muros eficiente para combatir el graffiti en aerosol, desarrollado por la Universidad Nacional Autónoma de México y licenciado a COMEX. Después de haber colocado la pintura, el aerosol puede ser removido con tan sólo lavar la pared con agua a presión, o utilizando cualquier solvente como thinner, aguarras, xilol, etc. Presenta una excelente resistencia al rayado y a sustancias químicas (incluyendo solventes comerciales e industriales), así como a la degradación UV. Su nombre comercial es Antigrffiti Deletum 3000®.

El Centro de Investigación en Polímeros (CIP) es el centro de investigación y desarrollo de tecnología y procesos productivos de GRUPO COMEX, dedicado a

²⁷ <http://www.invdes.com.mx/anteriores/Marzo2000/htm/imp82.html>

²⁸ Programa Nacional de Nanociencia y Nanotecnología Para Desarrollar Nuevas Bases Tecnológicas, Septiembre de 2002, pag. 5.

²⁹ www.comex.com.mx

la innovación de productos para consumo industrial y doméstico, comprometido con los estándares internacionales de calidad³⁰.

Ubicado al noreste de la Ciudad de México, en el pueblo de Tepexpan, municipio de Acolman en el Estado de México, el CIP tiene como 6 líneas principales de investigación:



Fig. IV.7. Antes y después con la pintura antigraffiti desarrollada y registrada por la UNAM.

- Síntesis de polímeros

Cinco investigadores trabajan en este grupo, coordinados por el M. en C. Juan Luis Camacho Heredia. Los desarrollos del grupo están principalmente enfocados hacia resinas base solvente de bajo VOC y resinas base agua para usos arquitectónicos. También desarrolla aditivos poliméricos para sistemas base agua.

- Química Analítica y caracterización de recubrimientos poliméricos

Conformado por cuatro especialistas, liderados por la química María del Carmen Pérez Vázquez, el grupo se dedica a la caracterización de materiales poliméricos y productos relacionados con la industria de recubrimientos mediante el desarrollo de métodos analíticos y aplicación de la química analítica instrumental.

- Formulación de recubrimientos poliméricos

³⁰ <http://www.cip.org/>

Mónica Alcalá Saavedra, el grupo tiene por objetivos principales el entender y controlar las propiedades de desempeño de los recubrimientos en función de sus componentes.

- Físicoquímica de Polímeros y Dispersiones Coloidales

La investigación del grupo de cuatro investigadores esta dirigida hacia tres temas principales: estabilización de suspensiones coloidales vía la adición de agentes interfaciales; caracterización de la interacción de agentes de superficie poliméricos con sustratos vía simulación molecular; y propiedades reológicas³¹ de pinturas y suspensiones en general vía reometría³² líquida o sólida (análisis mecánico-dinámico).

- Ingeniería Básica: Modelamiento y control de procesos de polimerización

El objetivo principal del grupo de ingeniería básica es el de desarrollar herramientas para obtener la máxima producción de polímeros de calidad consistente y en condiciones seguras.

- Propiedades Ópticas de Recubrimientos

El objetivo del grupo de propiedades ópticas es entender detalladamente la interacción de la radiación con materiales compuestos. Esto permite entender el comportamiento óptico de los recubrimientos de pintura y así construir herramientas de predicción de la apariencia de los diferentes productos de COMEX. El conocimiento generado también es aprovechado para la hacer más eficiente del uso de los pigmentos en la formulación de pinturas.

Sin embargo, no está claro si estos grupos están trabajando en el desarrollo de nanotecnologías; ante la falta de información necesaria para afirmar tal cosa, no podremos aclarar nada al respecto. Lo que si podemos decir es que esta empresa está lanzando al mercado un producto basado en nanotecnología desarrollado por la Máxima Casa de Estudios. En todo caso, es realmente admirable su interés por la tecnología mexicana y el hecho de poseer un centro de innovación tecnológica, cosa de la cual pocos pueden preciarse.

La otra empresa es, en nuestra opinión, *CYDSA*³³. A través del Centro de Tecnología Textil Grupo Cydsa, esta empresa está llevando a cabo diversos proyectos usando nanotecnología. Este centro fue inaugurado formalmente el 18

³¹ La reología tiene como objetivo central el estudio de la deformación y el flujo de los materiales, los cuales tienen respuestas mecánicas comprendidas entre los extremos puramente elástico (Ley de Hooke) y puramente disipativo (Ley de Newton). Por consiguiente la reología caracteriza los materiales denominados, por ejemplo, viscoelásticos, viscoplásticos y tixotrópicos y encuentra la relación entre las respuestas mecánicas y la micro-estructura (fases, mesofases, conformaciones macromoleculares, etc.).

³² La reometría estudia las técnicas y ensayos experimentales de la reología para evaluar las funciones reométricas de los materiales.

³³ www.cydsa.com

de noviembre de 1999, en Aguascalientes, Aguascalientes. El corte del listón lo realizó el entonces presidente de México, Dr. Ernesto Zedillo, durante su visita a las instalaciones. El Centro de Tecnología Textil es parte de un programa mayor acordado entre Grupo Cydsa y el Consejo de Ciencia y Tecnología CONACYT para co-invertir en la construcción de instalaciones de alta tecnología en nuestro país.

Grupo Cydsa es un importante grupo empresarial regiomontano, presente en diversos sectores de la industria. El Ing. Tomás González Sada es el Presidente del Consejo de Administración y Director General Ejecutivo de CYDSA. Esta empresa ha servido a un número de importantes mercados industriales: fibras artificiales y sintéticas; textiles para el hogar y prendas tejidas; petroquímica y química especializada; tecnologías de películas para empaquetado y servicios medioambientales. Cydsa tiene una participación de mercado dominante en la mayoría de estas áreas.

Fundada en 1945, Cydsa hoy está compuesta por 18 empresas agrupadas en 6 divisiones organizacionales:

- Químicos y Plásticos
- Empaques Flexibles
- Fibras
- Hilaturas y Textiles para el Vestido
- Textiles para el Hogar

Así, los proyectos relacionados con nanotecnología, desarrollados en el Centro de Tecnología Textil Grupo Cydsa, son:

a) Nanotecnología de Microencapsulación de Aditivos 2002-C02-1761- FECE

Los productos específicos son:

- Cobertor con Aroma
- Cobertor Antibacterial
- Reducción de Costos Fibra Antibacterial

Para evitar que los aditivos textiles se pierdan con los lavados o sean atacados por los solventes utilizados, se propuso desarrollar la tecnología para microencapsularlos y así aplicarlos tanto en la superficie como dentro de las fibras.

Se desarrolló la tecnología para microencapsular fragancias y aditivos antibacteriales con el fin de evitar pérdidas, aumentar la resistencia a los lavados y reducir costos.

Como resultados se tuvieron los siguientes:

- Se logró el lanzamiento al mercado de dos nuevos cobertores con propiedades antibacteriales y con aroma, resistentes a los lavados.
- Las ventas de cobertores se incrementaron 50%.
- Propiedad Intelectual Generada: Secreto Industrial y Patente en trámite.
- Se redujo el costo de la fibra antibacterial en un 60%.

Monto Otorgado: \$ 828,000 (Otorgado por el Comité Técnico y Administrativo)

Entidad Federativa: Aguascalientes

Tamaño de la empresa: Micro

Costo Total del Proyecto: \$2,200,000.00

b) Fibra Acrílica con Microacumuladores Térmicos

Los textiles térmicos permiten con un menor espesor guardar de una manera más eficiente el calor. Así un suéter o un cobertor podrán ser más abrigadores sin tener que ser más gruesos y pesados.

Así, el objetivo de este proyecto es desarrollar la tecnología para la microencapsulación de materiales de cambio de fase (Phase Change Material PCM), para ser utilizados como acumuladores térmicos en la fibra acrílica o en sus derivados.

Otras empresas

En nuestra búsqueda de compañías mexicanas que estuvieran de alguna forma relacionada con la nanotecnología, encontramos las siguientes empresas:

a) Mabe es otra empresa que está empezando a dedicar tiempo, dinero y esfuerzo al desarrollo de nanotecnología.

Casos de Proyectos de Nanotecnología en Mabe

- Nanocerámica
- Antibacteriales
- Nanocompositos

b) kNanotech³⁴ es una compañía promotora y distribuidora de productos y materia nanotecnológicos en México y Latinoamérica, trabajando en conjunto con tres compañías alemanas investigadoras y productoras de la nanotecnología. Tiene distribuidores en México (CNM Comercializadora Nano de México Distribuidora NANO de América S.A. de C.V) y en Latino América. De acuerdo con la información de su página de Internet, kNanotech trabaja en colaboración con el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey y con la Universidad Autónoma de Nuevo León, apoyando la investigación y desarrollo de Nanotecnología en nuestro país.

³⁴ <http://www.knanotech.com>

Los productos de kNanotech están divididos en tres áreas:

1. Limpieza y sellado
2. Recubrimientos y polímeros de alta tecnología
3. Películas inteligentes

c) El Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CID), una empresa independiente, filial de Grupo Industrias Resistol (Girsa), está dedicado a la generación de tecnologías enfocadas a especialidades químicas y de ciencias de los materiales, entre los que figuran plásticos, elastómeros-hules, emulsiones, adhesivos, pinturas e impermeabilizantes.

Si bien los primeros esfuerzos de investigación y desarrollo tecnológico en Girsa datan de los años setenta, es a partir de 1984 cuando inicia la contratación de personal con maestría y doctorado, bajo un original concepto llamado “masa crítica”; es decir, capital intelectual especializado en áreas específicas y sujeto a un plan pionero de ascensos y estímulos a investigadores. Actualmente el CID cuenta con 25 científicos (cuatro de ellos miembros del Sistema Nacional de Investigadores, SNI); 23 estudiantes que realizan en sus instalaciones trabajos de tesis, y dispone de ocho asesores universitarios expertos en polímeros (plásticos), la mayoría nivel III del SNI.

El centro está ubicado en Lerma, estado de México y sus especialistas disponen de equipos de síntesis y procesamiento de polímeros a diferentes escalas, así como diversas alternativas técnicas para medir el desempeño mecánico y caracterización química de sus procesos. Incluso, en su ramo es la primera empresa privada de México y una de las cuatro en el mundo que invierte en componentes totalmente robotizados y automáticos, a fin de investigar y desarrollar tecnologías relacionadas con la química combinatoria, una de sus directrices estratégicas³⁵.

d) Diamon-Fusion International³⁶, Inc. (DFI), fabricante y distribuidor global exclusivo de la nanotecnología patentada Diamon-Fusion® ha firmado un acuerdo con Vitro América, subsidiaria de la manufacturera internacional en vidrio plano Vitro, S.A. de C.V., con oficinas centrales en Monterrey, México. El acuerdo permite a Vitro la distribución de la nanotecnología patentada Diamon-Fusion® en localidades del oeste Estadounidense a través de su división ACI Distributions West.

La Nanotecnología DFI posee características multifuncionales que incluye: repelencia al agua y al aceite (hidro y oleofobicidad), resistencia al impacto, protección contra graffitti, suciedad y manchas, protección ante huellas digitales, estabilidad UV, aislación eléctrica adicional, protección contra la deposición de calcio y sodio y provee asimismo mayor lubricidad y brillo adicional. La cobertura

³⁵ <http://www.invdes.com.mx/tematicosnota.cfm?orden=14&publicant=Ago%202005>

³⁶ <http://www.diamonfusion.com/>

DFI es un proceso patentado que opera en el nivel de la nanoescala y el cambio de la composición molecular en materiales con base silíceo (vidrio), que crea la química de DFI y la amalgama de nanopartículas junto a la “ligadura cruzada” y “capeado” final, permiten la completa eficiencia del proceso cobertor en la escala atómica.

Con este acuerdo, celebrado en enero de 2005, Vitro se convierte en una de las empresas que están empezando a comercializar productos generados por la nanotecnología.

IV.2.4 Grupos de Investigación

1) Universidad Nacional Autónoma de México

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), como la máxima casa de estudios del país, se distingue sobre muchas otras instituciones por la calidad de su trabajo de investigación, los recursos dedicados a este rubro y el compromiso de su gente para con las nuevas tecnologías. En la UNAM existen grupos de investigación en diversas áreas de la nanociencia, los cuales pertenecen a diferentes dependencias, entre las que destacan: Instituto de Física (IF), Instituto de Investigación en Materiales (IIM), Instituto de Química (IQ), Facultad de Medicina (FM), Facultad de Química (FQ), Facultad de Ciencias (FC), Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), Centro de Investigación en Energía (CIE), Centro de Ciencias de la Materia Condensada (CCMC), Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA), etc.

Instituto de Física

El Instituto de Física (FI) ha realizado investigación a la escala nanométrica desde hace más de una década, sin embargo es en el año 2000 cuando surge la idea de formar redes de trabajo con la finalidad de ampliar y compartir el conocimiento entre los diferentes grupos de trabajo del Instituto; es así como en el año 2003 surge un proyecto llamado Red de Grupos de Investigación en Nanociencia (REGINA), el cual involucró a los investigadores del Instituto de Física dedicados al desarrollo de la nanociencia.

Dentro de las actividades de este grupo se encuentra la de organizar seminarios y conferencias, en donde cada grupo de investigación presenta al resto de sus compañeros su trabajo realizado, sus hipótesis, y sus dudas. Al final de cada presentación, los participantes aportan ideas, observaciones y recomendaciones, con la finalidad de enriquecer las investigaciones y trabajar de manera interdisciplinaria.

El Instituto organiza dos seminarios al año, los llamados seminarios de primavera y de otoño; semanalmente, un grupo de trabajo expone sus líneas de investigación. El método de trabajo de REGINA comenzó a llamar la atención

entre los diferentes Institutos y dependencias de la UNAM que también realizaban investigación en esta área, por lo que durante una reunión de investigadores y directivos de la UNAM, que se llevo a cabo el 29 de abril del 2004 en el museo UNIVERSUM, decidieron extender el alcance del proyecto de REGINA para que se constituyera como un esfuerzo de toda la UNAM. Acordaron conservar el nombre que el Instituto de Física le había dado, y ahora buscan proyectos de investigación con los cuales puedan trabajar en forma conjunta.

Actualmente REGINA-UNAM esta organizada en cuatro grupos de investigación, lo cuales son: síntesis y caracterización, teoría y simulación, publicaciones y tesis y becas. El objetivo de esta red es promover la colaboración entre grupos de investigación de la UNAM en el tema de nanociencia; organizar eventos para dar a conocer su investigación, así como representar a la UNAM a nivel nacional e internacional ante redes similares.

Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada

El Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) fue creado el 1° de abril de 2002 en Juriquilla, Querétaro, y es una dependencia dedicada a la investigación científica básica y aplicada en el desarrollo de nuevas tecnologías, que van desde la ingeniería biomédica hasta la nanotecnología.

En este centro existen dos departamentos de investigación, los cuales son: departamento de ingeniería molecular de materiales y el departamento de nanotecnología, en donde se realiza investigación básica y aplicada de materiales organizados a nivel molecular.

Dentro de sus líneas de investigación se encuentran las de materiales nanoporosos, catálisis, propiedades magnéticas, fibras ópticas de plástico, etc. Uno de los principales logros que ha tenido este centro en el área de nanotecnología fue el desarrollo de una pintura anti-graffiti.

Centro de Investigación en Energía

El Centro de Investigación en Energía (CIE) es un centro ubicado en Temixco, Morelos, en el cual se busca generar conocimiento en el tema de energía, motivo por el cual ha decidido explorar en el área de la nanociencia. Actualmente cuenta con aproximadamente 8 proyectos relacionados con la nanociencia, con aplicación en la conversión, ahorro y almacenamiento de energía.

Instituto de Investigación en Materiales

En el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM existen actualmente diversos grupos que están trabajando en proyectos de investigación en nanociencias, teniendo como objetivos la preparación, obtención y síntesis de materiales que estructuralmente contengan o estén compuestos por nanomateriales, desarrollados mediante técnicas novedosas, además de la caracterización, estudio y aplicación de esos materiales.

Sus líneas de investigación tienen que ver con: cerámicas nanoestructuradas, confinamiento y transporte cuántico en materiales nanoestructurados, estudio de las propiedades físicas de nanomateriales, estudio y caracterización de nanoestructuras de silicio y carbón, fabricación de materiales con dimensiones nanométricas, nanocompuestos poliméricos, películas delgadas nanoestructuradas, preparación y aplicaciones de óxidos metálicos, entre otras.

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico

El Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico cuenta con un departamento de materiales avanzados y nanotecnología, que desarrollan investigación relacionada con los materiales nanoestructurados. El grupo está conformado por alrededor de 10 investigadores, divididos en tres laboratorios que son: Laboratorio de Materiales y Sensores, Unidad de Películas Delgadas y Unidad de Microlitografía, este grupo ha publicado alrededor de 30 publicaciones en el área.

Centro de Ciencias de la Materia Condensada

El Centro de Ciencias de la Materia Condensada fue creado el 2 de diciembre de 1997. Sus principales actividades están dirigidas a la investigación teórica y experimental en Física de Materiales, y a la formación de recursos humanos. Dentro de sus líneas de investigación, se encuentra la Física Teórica, Físico Química, Propiedades Ópticas, Nanoestructuras y Catálisis.

En fechas recientes el nuevo director del centro, para el periodo 2006-2010, el Dr. Sergio Fuentes Moyado, anunció, que el Centro de Ciencias de la Materia Condensada podría convertirse en Instituto de Nanotecnología. Asimismo consideró que la conversión del centro en instituto es congruente con la creación de parques de desarrollo tecnológico en la frontera de Estados Unidos; y la nanotecnología será un factor determinante de innovación para los cientos de compañías que allí se instalarán. Se considera que en los próximos 10 años se requerirán cinco mil científicos para generar innovación tecnológica. Las autoridades de la UNAM han expresado gran interés en que esta casa de estudios esté presente en ese desarrollo tecnológico. Se cree que este centro puede ser la punta de lanza, tomando en cuenta su liderazgo académico, líneas de investigación, estudios de postgrado y posición geográfica. Por ello las autoridades de la UNAM están interesadas en crear un instituto de nanotecnología, y reconocen en el centro las cualidades necesarias para realizar tal iniciativa, por lo que han ofrecido su apoyo para que dicha instancia contribuya a la formación de una nueva cultura del avance científico ligado a las tecnologías.

Sergio Fuentes consideró necesario actualizar los estudios de postgrado, de manera que proporcionen conocimientos acordes con el estado del arte de la ciencia y la tecnología.

El centro cuenta actualmente con 34 investigadores (todos integrantes del Sistema Nacional). Se han construido laboratorios de investigación y postgrados asociados a ellos, lo que ha permitido destacar en temas de frontera del conocimiento.

El Dr. René Drucker, Coordinador de la Investigación Científica, recalcó que el centro afrontará grandes retos por lo que es fundamental tener una visión de mediano y largo plazo, para lo cual contará con todo el apoyo de la coordinación.

Proyecto Universitario de Nanotecnología

En abril de 2004, el rector de la UNAM Juan Ramón de la Fuente, junto con la coordinación de investigación científica, encabezada por el Dr. René Drucker Colín, propusieron elaborar un proyecto de nanotecnología, en el que se busque resolver problemas útiles para la sociedad. Con este proyecto se pretende trabajar en red, y tratar de incluir al mayor número posible de grupos de investigación, y a la vez obtener resultados atractivos para la industria.

Para seleccionar el tópico de investigación al cual se iban a enfocar, se realizó un consenso, en el que cada uno de los grupos de investigación propusieron temas, y finalmente el Comité de Investigación Científica, acordó desarrollar materiales nanoestructurados, usados como catalizadores para el mejoramiento ambiental. El proyecto estará evaluado por Harold Kroto, premio nobel de química, por el descubrimiento de los fullerenos, Robert Cava, de la Universidad de Princeton University, quién es el personaje con mayor citas a nivel mundial en cuanto a materiales nanoestructurados se refiere, y finalmente José Santiesteban de Exxon Mobil.

El proyecto se encuentra bajo la coordinación del Dr. Alipio Calles, y participan instituciones como IIM, CCMC, CIE, CFATA, CCADET; se espera que instituciones como: la Facultad de Ingeniería, Instituto de Química, Facultad de Química, Instituto de Ingeniería, FI, IIMAS, ICN, puedan incorporarse a la brevedad.

El proyecto cuenta con un financiamiento anual de un millón de pesos, por parte de la UNAM, con un horizonte de aproximadamente 10 años.

Con este tipo de proyectos se busca cambiar la manera de hacer investigación en el país, además de que resultará un gran impulso para la nanotecnología en el País.

2) Universidad Autónoma de San Luis Potosí³⁷

El Instituto de Física "Manuel Sandoval Vallarta" de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, actualmente, cuenta con una planta de 23 investigadores de tiempo completo. Además del programa de postgrado en Física, las áreas de investigación que actualmente se están desarrollando son las siguientes:

- Fluidos Complejos

³⁷ <http://www.uaslp.mx/>

- Materia Condensada
- Nanoestructuras
- Física de altas energías
- Fisicoquímica
- Biofísica

A continuación se muestran los diversos proyectos en los cuales ha trabajado la Universidad Autónoma de San Luis Potosí desde 2002 hasta la fecha.

<i>No.</i>	<i>Responsable y Dependencia</i>	<i>Nombre del Proyecto</i>	<i>Modalidad</i>	<i>Monto Solicitado</i>	<i>Gasto Corriente</i>	<i>Gasto de Inversión</i>
<i>1</i>	Dr. Francisco J. Medellín Rodríguez / Facultad de Ciencias Químicas	Modificación de Monoarcillas y su impacto en las propiedades de polímeros Nanoestructurados	Profesor Investigador	\$1.109.866,00	\$348.175,00	\$761.691,00
<i>10</i>	Dr. Jesús Gerardo Dorantes Dávila / Instituto de Física	Propiedades Electrónicas de Nanoestructuras de Metales de Transición: Magnetismo a Temperatura Finita y Propiedades Magnetoanisotrópicas	Profesor Investigador	\$1.075.400,00	\$742.900,00	\$332.500,00
<i>14</i>	Dr. Armando Encinas Oropesa / Instituto de Física	Estructuras Magnéticas Micro y Nanoscópicas para la Electrónica de Espin	Joven Investigador	\$1.352.800,00	\$293.550,00	\$1.059.250,00

Tabla IV.7. Proyectos contenidos en el Fondo Sectorial SEP-CONACYT 2002

<i>No.</i>	<i>Nombre / Dependencia</i>	<i>Título</i>	<i>Asignación</i>
<i>1</i>	Dr. Francisco Javier Medellín Rodríguez CIEP/F.C.Q.	Nuevas Técnicas de Preparación de Materiales Poliméricos Nanoestructurados y Análisis de sus Propiedades Of. R. 131/02	\$1.034.688,00
<i>2</i>	Dr. Luis Salvador Hernández Harnández	Nuevas Técnicas de Preparación de Materiales Poliméricos Nanoestructurados y Análisis de sus Propiedades Of. R. 131/02	\$1.034.688,00

Tabla IV.8. Proyectos contenidos en el Programa de Colaboración Interamericana de Materiales (CIAM)

<i>No.</i>	<i>Nombre / Dependencia</i>	<i>Título</i>	<i>Asignación</i>
<i>1</i>	Dr. Octavio Domínguez Espinós Instituto de Metalurgia	Diseño y Operación de Misiles en Base a Propelentes Sólidos de Nanocompuestos de Aluminio Of. R. 156/02	10,844,000.00

Tabla IV.7. Proyectos contenidos en el Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo en Ciencias Navales

En total, la UASLP ha destinado un total de \$5,607,442.00 en nanotecnología.

3) Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica

El Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICyT) fue fundado el 24 de Noviembre de 2000. La creación del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C. (IPICYT) se hizo posible debido al interés explícito del Gobierno del Estado de San Luis Potosí, el cual fue manifiesto en su Plan de Desarrollo y en la aportación de los edificios de la División de Biología Celular. El respaldo otorgado a esta iniciativa por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y de la Secretaria de Educación Pública, fueron igualmente decisivos para su creación. Hoy en día se ha constituido como un centro CONACYT, que se encuentra bajo la dirección del Dr. David Ríos Jara

La misión del IPICyT es generar, transmitir y difundir el conocimiento científico y tecnológico en diversas áreas del conocimiento. El instituto está organizado en grupos de investigación, con tópicos en biología molecular, ingeniería ambiental, matemáticas aplicadas y sistemas computacionales, geología económica y materiales avanzados para tecnología moderna. Este último grupo es coordinado por el Dr. Humberto Terrones, y está concentrando sus esfuerzos en investigaciones teóricas y experimentales en nanociencia, específicamente en materiales nanoestructurados.

Cerca de 10 investigadores tanto nacionales como extranjeros están trabajando en nanociencia. Algunos miembros del grupo comenzaron a publicar sus artículos de investigación y a participar en congresos nacionales, obteniendo reconocimiento internacional sobre todo en el área de nanotubos.

En mayo de 2002 el entonces director del Instituto Dr. José Luís Morán López y el coordinador del grupo de materiales avanzados lanzaron una iniciativa de investigación y desarrollo de nanociencia y nanotecnología a nivel nacional, ante 31 investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México, el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma Metropolitana, el Instituto Mexicano del Petróleo, la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, el CIMAV y algunos asesores extranjeros de la Universidad de Texas (UT), y representantes de IBM, California. Esta iniciativa tiene como objetivo formar una red de investigadores a nivel nacional que, mediante un esfuerzo coordinado, desarrollen tanto investigación básica como productos y procesos que culminen en nuevas tecnologías, que brinden solución a problemas del país, además de capacitar y formar recursos humanos.

El IPICyT empezó a organizar reuniones anuales de discusión, análisis y difusión de resultados. La “Tercera Reunión de Nanociencias y Nanotecnología hacia un Programa Nacional”, a la cual asistimos, se llevó a cabo del 20, 21 y 22 de mayo de 2004, y contó con la participación de los representantes de 20 instituciones como la UNAM, UAM, UASLP, UAZ, BUAP, CIMAV, CIQA, UT, IMP, CONACYT, entre otras. Los investigadores presentaron sus líneas de investigación, sus proyectos y sus colaboradores.

Los avances referentes a la iniciativa nacional lanzada en el 2002, serán presentados en el apartado de antecedentes para un Plan de Nanotecnología,

desarrollado en el capítulo V, denominado; Factores a considerar en la elaboración de un Plan Nacional de Nanotecnología en México.

Otra de las acciones relevantes del Instituto consiste en la creación de una maestría y un doctorado en Nanociencia y Nanotecnología³⁸, con el objetivo de formar recursos humanos altamente calificados en área. La duración es de cuatro semestres para la maestría y seis semestres para el doctorado. El Dr. Emilio Muñoz es el Coordinador de la opción de Nanociencias y Nanotecnología del Postgrado de Ciencias Aplicadas.

Maestría en Ciencias Aplicadas, Opción Terminal, Nanociencias y Nanotecnología.	
PRIMER SEMESTRE	Cristalografía y Caracterización de Materiales y Laboratorio (12), Métodos Matemáticos en Ciencias (9), Temas Selectos en Ciencias Biológicas (12), Seminario Interdisciplinario (1).
SEGUNDO SEMESTRE	Temas Selectos en Ciencias Físicas (12), Termodinámica y Mecánica Estadística de Sólidos (9), Fisicoquímica del Estado Sólido (9), Seminario Interdisciplinario II (1).
TERCER SEMESTRE	Propiedades Electrónicas de los Materiales (9), Investigación Maestría (18), Optativa (9), Seminario Interdisciplinario III (1).
CUARTO SEMESTRE	Tesis Maestría (36), Seminario Interdisciplinario IV (1).
MATERIAS OPTATIVAS	Materiales Nanoestructurados y Laboratorio (12), Métodos Computacionales en Materiales Avanzados (9), Tópicos Avanzados de Materiales I (9), Tópicos Avanzados de Materiales II (9).
Doctorado en Ciencias Aplicadas (después de maestría), Opción Terminal: Nanociencias y Nanotecnología.	

Tabla IV.8. Programa de Estudios de la Maestría y Doctorado en Nanociencia y Nanotecnología

En el primer semestre los estudiantes cursan Tópicos Avanzados de Materiales I y II. En los semestres del I al IV los estudiantes realizan su investigación bibliográfica y de campo acerca de su tema de tesis y en el V y VI semestre desarrollan un trabajo relacionado con la escritura de su tesis.

Bajo este esquema, los estudiantes asisten cada semana a un seminario interdisciplinario en el cual se presentarán los avances de los proyectos en marcha y se presentarán propuestas de colaboración multidisciplinaria nuevas o mejoradas en función de los avances del conocimiento.

Las instalaciones con que cuenta el IPICyT para impartir esta maestría y doctorado en Nanociencia y Nanotecnología son:

³⁸ Los requisitos para cursar estos cursos están en <http://www.smf.mx/Catalogo03/MEXICO/IPICYT/ipicyt.html>

- Biblioteca: Existen 307 libros referentes al tema y 19 revistas Suscripciones vigentes.
- Tres Sistemas de Información: Unicornio, Ariel, Current Contents.
- Un laboratorio de cómputo.
- Cuatro laboratorios: Microscopía y Electrónica, Propiedades Ópticas de Materiales, Caracterización de Nanoestructuras, Magnetismo de Nanoestructuras.

DATOS ESTADÍSTICOS DEL PROGRAMA ³⁹					
<i>Profesorado, matrícula y grados otorgados en 2003</i>					
Núm. de profesores de tiempo completo	13	13	Núm. total de estudiantes inscritos en 2003	4	12
Núm. de profesores de tiempo parcial	0	0	Núm. de estudiantes de primer ingreso en 2003	9	4
			Núm. de estudiantes titulados en 2003	0	0
Núm. total de profesores	13	13	Número de estudiantes graduados en 2003	0	0

Tabla IV.9. Estadísticas del Maestría en Ciencias Aplicadas, Opción Terminal, Nanociencias y Nanotecnología.

4) Universidad Autónoma Metropolitana

Con apoyo de capital público y privado, la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) cuenta con un laboratorio de Nanotecnología e Ingeniería Molecular. Nikola Batina, director de este laboratorio del Departamento de Química de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)-Iztapalapa, señaló que a pesar de que hace sólo una década que comenzó el "despegue mundial" de este nuevo campo científico, hoy existen cerca de 3 mil productos generados con nanotecnología, "la mayoría para usos industriales, aunque las investigaciones más avanzadas se registran en el campo de la medicina y la biología"⁴⁰.

Batina señaló que el Laboratorio de Nanotecnología de la UAM-Iztapalapa, especializado en el estudio de la superficie de nanopartículas, desarrolla en colaboración con un equipo de investigadores encabezado por Eva Ramón Gallegos, de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, uno de los proyectos más ambiciosos en el análisis de células vivas cancerígenas, con el que podrán caracterizar las nanopartículas que se ubican en la superficie de estos átomos, "lo que puede representar un importante avance en el estudio de terapias alternativas contra esta enfermedad"⁴¹.

Con la creación de este laboratorio se pretende dar soporte a líneas de investigación estrechamente vinculadas con el sector productivo y constituir un

³⁹ Fuente: <http://www.smf.mx/Catalogo03/MEXICO/IPICYT/ipicyt.html>

⁴⁰ http://www.insp.mx/2005/noticias/noticia180805_2.htm

⁴¹ http://www.insp.mx/2005/noticias/noticia180805_2.htm

ejemplo del nuevo paradigma de la investigación en México, en el cual se busca aumentar el impacto de la investigación aplicada en el desarrollo económico y social del país, y en el que se pretende que la industria asuma una mayor responsabilidad en la generación de nuevo conocimiento, invirtiendo recursos, asumiendo una parte del riesgo inherente y colaborando para dirigir y aplicar estos nuevos avances.

Mientras tanto, la Unidad Azcapotzalco de la UAM cuenta con planes de estudio que contienen a la nanotecnología como uno de los temas de materias de maestría.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		PROGRAMA DE ESTUDIOS	
UNIDAD	AZCAPOTZALCO	DIVISIÓN	CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
NOMBRE DEL PLAN		M. EN CIENCIAS E INGENIERÍA	
CLAVE	111822	UNIDAD DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE	Taller Computacional de Materiales II
H.TEOR.	3.0	CRED.	9 TIPO OBL.
H.PRAC.	3.0	SERIACIÓN	111819
		TRIM.	3
<p>OBJETIVO (S):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conocer los elementos teóricos en los cuales se basan distintas herramientas computacionales avanzadas para el estudio de las características fundamentales de materiales. - Aplicar metodologías de modelación computacional en la determinación cuantitativa de propiedades específicas de materiales. - Establecer las bases del diseño computacional de materiales. <p>CONTENIDO SINTÉTICO:</p> <p>Conjuntos de base de orbitales moleculares; funciones gaussianas contraídas, doble Z, con polarización. Análisis de población, momentos dipolares. Interacción de configuraciones; energías de correlación, geometrías de equilibrio, potenciales de ionización. Programas computacionales ab-initio, autoconsistentes, multiconfiguracionales, basados en pseudopotenciales; gaussian, pshondo, MCSCF. Bases del diseño de materiales asistido por computadora; uso de programas CAD moleculares. Nanotecnología. Cualquier programa avanzado, adecuadamente implementado en las facilidades de cómputo disponibles afin al modelado de materiales por computadora.</p> <p>MODALIDADES DE CONDUCCIÓN DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:</p> <p>Curso teórico-práctico de exposición tradicional, participación del alumno, apoyo audiovisual y computacional, análisis y discusión de bibliografía selecta.</p> <p>MODALIDADES DE EVALUACIÓN:</p> <p>Evaluaciones periódicas (2) consistentes en la resolución escrita de preguntas conceptuales y/o ejercicios y/o problemas (60%). Evaluación terminal consistente en la resolución escrita y/o computacional de ejercicios y/o problemas (60%). Trabajo práctico computacional (40%).</p> <p>BIBLIOGRAFÍA NECESARIA O RECOMENDABLE:</p> <p>Actualizada, acorde con los avances del modelamiento de materiales por computadora.</p>			
 <p>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA</p> <p>Casa abierta al tiempo</p> <p>ADECUACIÓN PRESENTADA AL COLEGIO ACADÉMICO EN SU SESIÓN NUM. _____</p> <p>EL SECRETARIO DEL COLEGIO</p>			

Figura IV.8.. Plan de estudios de Taller computacional de Materiales, de la Maestría en Ciencias e Ingeniería de la UAM.

La Universidad Autónoma Metropolitana realizó en la tercera semana de julio de 2004 dos de los congresos internacionales de Física más importantes en su especialidad: la XII Conferencia Internacional de Superredes, Nano-estructuras y Nanodispositivos 2004 (ICSNN-04, por sus siglas en inglés) y la XXXV Escuela Latinoamericana de Física: Supersimetrías en Física y sus Aplicaciones. Los encuentros, a los que acudieron especialistas reconocidos mundialmente, se

realizaron del 19 al 23 de julio en Cancún, Quintana Roo, y del 19 al 30 en El Colegio Nacional, en la Ciudad de México, respectivamente, en el marco del trigésimo aniversario de la fundación de esta Casa de estudios.

La Conferencia Internacional de Superredes, inaugurada por el rector general de la UAM, Luis Mier y Terán Casanueva, y a la que también asistió el Premio Nobel de Física en 1985, Klaus von Klitzing, de Alemania, reunió a científicos de Europa, Estados Unidos, Canadá y de diversos países de Asia y América Latina para hablar de la investigación básica relacionada con la Nanotecnología⁴².

5) Instituto Politécnico Nacional

El IPN, como una de las instituciones de educación superior de gran importancia en el país, también está teniendo desarrollos importantes, sobre todo a través de sus unidades especializadas.

*Centro de Investigación y de Estudios Avanzados*⁴³

El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav) es un organismo descentralizado de interés público, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Los objetivos fundamentales que el Cinvestav persigue son: preparar investigadores y profesores especializados que promuevan la constante superación de la enseñanza y generar las condiciones para la realización de investigaciones originales en diversas áreas científicas y tecnológicas que permitan elevar los niveles de vida e impulsar el desarrollo del país.

El Cinvestav está trabajando en nanotecnología en sus siguientes departamentos:

- Departamento de Física: La Sección Física de Estado Sólido es una sección interna del Departamento de Física del Cinvestav-IPN. Cuenta con una planta de 15 Profesores Titulares, entre los cuales:
 - Máximo López López dirige una investigación sobre “Síntesis de nanoestructuras, semiconductoras, pozos, hilos y puntos cuánticos. Crecimiento y caracterización de heteroestructuras por epitaxia de haces moleculares (MBE).
 - Carlos Vázquez López trabaja con “Microscopía de tunelamiento y de fuerza atómica”.
 - Miguel ángel Meléndez Lira centra su investigación en “Propiedades ópticas y síntesis de materiales nanoestructurados y películas delgadas. Espectroscopia Raman. Fotoluminiscencia y Reflectancias moduladas.

⁴² <http://www.azc.uam.mx/>

⁴³ <http://www.cinvestav.mx/>

- Unidad Querétaro. Esta unidad ha generado 6 artículos de nanotecnología recientemente, a saber:

No.	Nombre
1	Flores-Acosta D M, Pérez-Salas R, Sotelo-Lerma FF, Castellón-Barraza R, Ramírez-Bon R. "Optical and structural properties of PbS nanoparticles in zeolita Na-X" Adv. In Tech. of Mat. And Mat. Proc. J. 7(2), 101-104, 2005.
2	Hernández-Torres D J and Mendoza-Galván A. "Formation of NiO-SiO ₂ nanocomposite films by the sol-gel method". Journal of Non-Crystalline Solids. 351, 2029-2035, 2005.
3	Lopez-Urías F, Muñoz-Sandoval E, Reyes-Reyes M, Romero AH, M. Terrones and J. L. Morán-López "Creation of helical vortices during magnetization of aligned carbon nanotubes filled with Fe: Theory and Experiment" Phys. Rev. Lett. 94, 216102(1-4), 2005.
4	Louvier-Hernández D JF, Luna-Bárceñas G, Thakur R, Gupta RB. "Formation of Chitin Nanofibers by Supercritical Antisolvent" J of Biomedical Nanotechnology 1(1), 109-114, 2005.
5	Schneider GA, Scholtz T, Muñoz-Saldaña J and Swain MV. "Domain rearrangement during nanoindentation in single-crystalline barium titanate measured by atomic force microscopy and piezoresponse force microscopy". Applied Physics Letters 86, 192903(1-3), 2005.
6	Zakharchenko RV, Díaz-Flores LL, Pérez-Robles JF, González-Hernández J, Vorobiev YuV. "Nanostructured porous sol-gel materials for applications in solar cells engineering" Phys. Stat. Sol. C. 2(9), 3308-3313, 2005.

Tabla IV.10. Publicaciones recientes de la Unidad Querétaro del Cinvestav⁴⁴.

6) Instituto Mexicano del Petróleo

El Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) creó en 1999 el Programa de Ingeniería Molecular, a fin de desarrollar nuevas tecnologías o productos que requiere la industria petrolera, mediante la combinación de herramientas y disciplinas, tanto teóricas como experimentales. El estudio relacionado a lo nano está presente en muchas de las investigaciones que se llevan a cabo en el Programa. Entre las áreas de investigación en las que ha incursionado destacan las de tecnología de materiales, nuevos materiales, física de muchos cuerpos, termodinámica de altas presiones, termofísica y simulación cuántica, química combinatoria y supramolecular, entre otras. La plantilla del Programa involucra actualmente a 100 investigadores, de los cuales más del 60 por ciento pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores (SNI)⁴⁵.

El IMP está desarrollando varios proyectos en colaboración con la UAM, como la Caracterización de catalizadores por espectroscopía y modelado molecular, Nanopartículas para el Control de Emisiones Nocivas, Cinética de las reacciones de hidrotreamiento⁴⁶, entre otros. Además realiza investigación en el área de la nanociencia aplicada a la medicina. Uno de sus proyectos actuales consiste en la disminución de los procesos degenerativos en el ser humano, como por ejemplo

⁴⁴ <http://qro.cinvestav.mx/web/publicaciones.pdf>

⁴⁵ <http://www.invdes.com.mx/antiores/Octubre2002/htm/imp.html>

⁴⁶ http://cbi.izt.uam.mx/iph/transform.php?xml=campo&pagina_id=48

artritis, problemas de rodilla, etc. Este proyecto consiste en la introducción de nanopartículas de titanio y óxidos de titanio en el área afectada, con la finalidad de crear un efecto de recubrimiento y disminuir la fricción entre las articulaciones. Esta técnica ya ha sido probada en personas con este tipo de padecimientos, obteniendo resultados satisfactorios. Este caso es un ejemplo de que la nanociencia tiene aplicaciones reales y una de ellas es la nanomedicina.

Otras Instituciones

A continuación presentamos el listado completo de las instituciones que se encuentran desarrollando de una u otra forma algún tipo de nanociencia y nanotecnología. Debido a la falta de información, no nos fue posible detallar las actividades de todas ellas.

- Universidad Nacional Autónoma de México.

 - Instituto de Física.

 - Instituto de Investigaciones en Materiales.

 - Instituto de Química.

 - Facultad de Ciencias.

 - Facultad de Medicina.

 - Facultad de Química.

 - Centro de Materia Condensada, Ensenada.

 - Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, Juriquilla.

 - Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico

 - Centro de Investigación en Energía

- Instituto Politécnico Nacional.

 - Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

 - Unidad Mérida

 - Unidad Querétaro

 - Escuela Superior de Física y Matemáticas.

 - Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas.

 - Departamento de Física.

 - Departamento de Química.

 - Departamento de Ing. Eléctrica

- Universidad Autónoma Metropolitana.

 - Unidad Iztapalapa.

 - Unidad Azcapotzalco.

- Universidad Autónoma de Puebla.

 - Instituto de Física.

 - Facultad de Ciencias.

- Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

 - Instituto de Física.

 - Facultad de Ciencias.

 - Facultad de Ciencias Químicas.

 - Instituto de Investigación en Comunicación Óptica

- Universidad Autónoma de Zacatecas.
Facultad de Ciencias.

- Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Cholula.
- Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, La Marquesa.
- Instituto Mexicano del Petróleo.
- Centro de Investigaciones en Óptica, León.
- Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados, Chihuahua.
- Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.
- Hospital La Raza, Distrito Federal.
- Centro de Rehabilitación, Distrito Federal.
- Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA).
- Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Resistol.

IV.2.5 Percepción de la situación de la nanotecnología, según algunos expertos.

El análisis de la situación actual de la nanotecnología en México solo podía ser hecho por aquellos directamente involucrados en el desarrollo e investigación en esta tecnología. Entrevistamos a varios investigadores, quienes nos ofrecieron sus percepciones sobre el futuro de la nanotecnología. Así, todos se manifestaron a favor de su desarrollo y la inversión de recursos; en este sentido, notamos una desazón generalizada ante el pobre apoyo financiero. “El dinero siempre hará falta, lo que se necesita es aprender a conseguir los recursos por nuestra cuenta, salir a vender la idea y convencer a la gente”.

<i>Investigadores entrevistados</i>	
Nombre	Institución
Dra. Alicia Oliver	IF-UNAM
Dra. Gabriela Díaz	IF-UNAM
Dr. Ignacio Garzón	IF-UNAM
Dra. Cecilia Noguez	IF-UNAM
Dr. José Saniger	CCADET-UNAM
Dr. Stephen Muhl	IIM-UNA
Dr. Víctor Castaño M.	CFATA-UNAM
Dr. Alipio Calles	FC-UNAM

Tabla IV.11. Investigadores entrevistados para efectos de obtener sus percepciones sobre la nanotecnología en México.

Derivado de las entrevistas con los investigadores, reflexionamos lo siguiente:

1. La nanotecnología es un área multidisciplinaria que requiere la colaboración tanto de físicos, químicos, biólogos, médicos, ingenieros, industria y gobierno.

2. Para poder ser competitivos en el área de la nanotecnología, es necesario trabajar como una red conformada por varios nodos conectados a través de colaboraciones, compartir recursos, equipo e infraestructura. Esta dinámica de trabajo nos permitiría optimizar recursos, y establecer una sinergia entre los investigadores.
3. Las redes de trabajo deben involucrar tanto a investigadores, tecnólogos, empresarios y gobierno. Es necesario identificar las necesidades de cada uno de los integrantes de la red y establecer el rol de actividades de cada quién.
4. La formación de recursos humanos juega un papel importante en el desarrollo de la nanotecnología. México cuenta con alrededor de 100 investigadores trabajando en el área, esta cifra es baja comparada con la de otros países que también investigan en nanotecnología.
5. Para que los esfuerzos encaminados hacia la nanotecnología progresen, es necesario identificar que investigación se esta realizando en el país, quién la esta realizando, con equipo cuenta, para que se está realizando y sobre todo quién la podría utilizar. La respuesta a estos cuestionamientos nos permitiría avanzar en el desarrollo del área.
6. Actualmente en México se esta realizando investigación en nanociencia de una manera dispersa, para que México, pueda hablar de nanotecnología es necesario pensar en aplicaciones, en esta parte la participación de la ingeniería es de vital importancia.
7. Se tiene que cambiar la forma de hacer investigación en el país, promover la realización de trabajos multidisciplinarios, con alta calidad y en áreas prioritarias para el país.
8. El esquema bajo el que opera la investigación en las instituciones educativas no favorece la vinculación con la industria.
9. Se tiene que trabajar en cambiar la mentalidad de los empresarios mexicanos, y convencerlos que hacer tecnología no es sólo comprar equipo caro, se tiene que realizar investigación y generar esa tecnología.
10. Es de primordial importancia identificar los problemas del país para ofrecer, a través de la nanotecnología, solución a los mismos; de esta manera, los esfuerzos deberán estar enfocados en esos asuntos. Ejemplo de esto pueden ser medio ambiente, salud, etc.
11. El financiamiento constituye un problema grave. El presupuesto gubernamental asignado para ciencia y tecnología no permite más allá de pagar los sueldos de los investigadores. Sin embargo, muchos intentos por buscar financiamiento han fracasado.

La nanotecnología actualmente nos está ofreciendo una oportunidad histórica para romper con la dependencia tecnológica y salir del subdesarrollo, es un área que aún está en sus inicios y que requiere la colaboración de todos los sectores de la sociedad.

Es una oportunidad para que México deje de ser un espectador de los cambios y empiece a incidir en ellos. Hace falta inversión en el área y pareciera que la voluntad del gobierno no va en esta dirección, sin embargo al realizar este capítulo nos hemos dado cuenta que existe interés y visión de los beneficios que el desarrollo de esta tecnología puede ofrecer al país, se cuenta con algo de infraestructura, y poco a poco empieza a surgir el apoyo de algunas instituciones e incluso de algunas empresas. Sabemos que el camino aún es largo, sin embargo lo importante es no cambiar la dirección.

Capítulo V

Factores a considerar en la elaboración de un Plan Nacional de Nanotecnología

V.1 Justificación

A lo largo de este trabajo se ha hecho evidente que la tecnología a nanoescala se percibe como la próxima gran revolución tecnológica, las innovaciones que surgirán al manejar controladamente la materia permitirán remediar situaciones que las tecnologías actuales no han solucionado. Las áreas que se verán beneficiadas son tan variadas como amplio es el campo de acción de las mejoras en materiales. La electrónica, la medicina, la construcción, la industria en general, nos proveerán de productos y servicios basados en nanotecnología que mejorarán sustancialmente nuestro modo de vida.

Todas las naciones, ya sean industrializadas o en vías de desarrollo, enfrentan una serie de retos que requieren la aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos actualizados. Estos retos incluyen estimular el crecimiento económico, mitigar los problemas del medio ambiente, adoptar nuevas y seguras tecnologías y una pronta respuesta a epidemias o enfermedades actuales o emergentes. Ninguna nación puede darse el lujo de no tener acceso a capacidades de investigación científica y tecnológica que la ayuden a desarrollarse y a llevar a cabo acciones efectivas. Como *capacidades* entendemos la construcción y desarrollo de infraestructura, recursos humanos y proyectos estratégicos.

En México, incrementar las capacidades científicas y tecnológicas resulta esencial, debido a que las tendencias en el desarrollo y uso de nuevas tecnologías han abierto una brecha creciente entre las naciones “que tienen” y las que “no tienen”. El mundo experimenta un círculo vicioso en el cual quedan rezagados los países en vías de desarrollo que carecen de capacidades en ciencia y tecnología, mientras que las naciones industrializadas con recursos financieros y una fuerza de trabajo científica preparada, explotan nuevos conocimientos y tecnologías con mayor rapidez e intensidad.

Existen severas diferencias en los presupuestos asignados a Investigación y Desarrollo. Las naciones ricas e industrializadas gastan entre 1.5 y 3.8 por ciento de su PIB, mientras la India asigna 1.2%, Brasil 0.91% y China 0.6%; las naciones en vías de desarrollo destinan menos de 0.5%. De igual forma, en países con altos ingresos el número de científicos e ingenieros representa un promedio de 3,281 por cada millón de personas. En naciones con ingresos medios, existe un

promedio de 788 científicos e ingenieros por millón de habitantes. Pero en la mayoría de los países en vías de desarrollo, el número es tan pequeño que no puede ser calculado de manera confiable¹

Esta clase de déficit, en el caso de campos que emergen rápidamente como la nanotecnología, puede dejar rezagadas a todas las economías en desarrollo. Es evidente la necesidad de desarrollar capacidades científicas y tecnológicas que hagan posibles las promesas de la nanotecnología. Las principales potencias económicas invierten de manera formal desde hace aproximadamente cinco años en este campo; pero no sólo países desarrollados como Estados Unidos, Japón y Alemania, naciones como China, India, Corea están apostando al desarrollo nanotecnológico como una de sus principales áreas de inversión tecnológica.

La innovación tecnológica desempeña un importante papel en el crecimiento económico. La capacidad innovadora nacional es la capacidad que tiene un país de producir y comercializar tecnología innovadora a largo plazo, y depende de un conjunto interrelacionado de inversiones, políticas y dedicación de recursos que sostienen la producción de las tecnologías nuevas. La capacidad innovadora nacional no es simplemente el nivel de producción innovadora; se refleja en la presencia de condiciones fundamentales, inversiones y políticas que determinan el alcance y éxito del esfuerzo innovador de un país (por ejemplo, altos niveles de recursos científicos y tecnológicos, políticas que alientan la inversión y la actividad innovadora, y clusters industriales orientados a la innovación).

Cómo medir la capacidad innovadora nacional

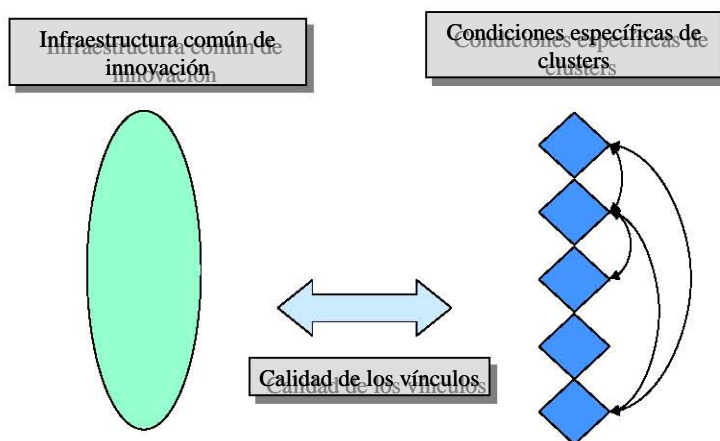


Figura V.1. “Los factores impulsores de la capacidad innovadora nacional: implicaciones para España y América Latina”. Michael Porter, Jeffrey L. Furman, Scott Stern.

La capacidad innovadora nacional depende, en parte, de la sofisticación tecnológica y de la mano de obra de una economía determinada, pero también refleja las inversiones y políticas de los sectores estatal y privado que afectan los incentivos a las actividades de investigación y desarrollo de un país. La capacidad innovadora nacional no es sólo los logros puramente científicos o técnicos de una

¹ “Capacidades Científicas y Tecnológicas Sólidas, una necesidad de todos los países”, InterAcademic Council, Estados Unidos, Febrero de 2004.

economía, los cuales no implican necesariamente la aplicación económica de una nueva tecnología, también, y sobre todo, implica una ventaja competitiva industrial, la cual es el resultado de numerosos factores además del desarrollo y la aplicación de tecnologías innovadoras.

Los factores determinantes de la capacidad innovadora nacional constan de dos amplias categorías de elementos: (1) un grupo común de instituciones, recursos dedicados y políticas que respalden la innovación y (2) la orientación particular hacia la innovación de grupos de clusters industriales interconectados.

En la figura V.1, la parte izquierda representa los factores horizontales que respaldan la innovación en muchas, si no todas, las industrias, a lo que se elude con el nombre de infraestructura común de innovación. Estos factores incluyen elementos tales como el nivel actual de sofisticación tecnológica en la economía, la oferta de trabajadores calificados técnicamente, el alcance de las inversiones en investigación básica y enseñanza, y políticas que afectan a los incentivos para la innovación en cualquier sector. Los diamantes de la parte derecha significan el entorno innovador de cada cluster industrial nacional, cada cluster debe competir y evolucionar sobre la base de una innovación sostenida, si quiere contribuir a la capacidad innovadora de una nación. Por último, los vínculos entre la infraestructura de innovación común y cada cluster industrial, contribuye a la capacidad de una economía para movilizar recursos relacionados con la infraestructura hacia las oportunidades de innovación en sectores industriales específicos.

Según el documento publicado en 2003 titulado “National Innovative Capacity Index 2003”, elaborado por Michael Porter de Harvard Business School, Scott Stern de Northwestern University y el Consejo Nacional de Investigaciones Económicas de los EEUU, el ranking en capacidad innovadora es el siguiente:

- | | |
|-------------------|--------------|
| 1. Estados Unidos | 6. Singapur |
| 2. Finlandia | 7. Suecia |
| 3. Reino Unido | 8. Dinamarca |
| 4. Japón | 9. Suiza |
| 5. Alemania | 10. Francia |

En cuanto a las regiones hispanas: España (24), Portugal (33), Chile (41), Brasil (42), Costa Rica (46), México (51), Argentina (56), Panamá (58), Colombia (62), República Dominicana (63), Uruguay (64), Perú (65), El Salvador (66) y Venezuela (67).

Aunque países como Estados Unidos, Suiza y Japón aparecen en la parte superior del índice de la capacidad innovadora nacional desde hace tres décadas, la ventaja relativa de los países líderes ha disminuido con el tiempo. Durante este periodo de tiempo se han producido diferencias sustanciales entre los países en sus niveles de inversión en los factores que contribuyen a la capacidad innovadora nacional. Economías como Dinamarca y Finlandia han obtenido importantes ganancias en capacidad innovadora desde mediados de los años ochenta, formando junto con

Suecia una región innovadora de categoría mundial. En contraste con esto, varios países de Europa Occidental, incluidos el Reino Unido, Francia e Italia, han mantenido niveles constantes de capacidad innovadora en el último cuarto de siglo.

Al menos hasta hace poco, los países de habla hispana se han enfrentado a barreras que han limitado el progreso en estas áreas, con graves consecuencias para la producción de innovaciones. En 1997, mientras muchos países latinoamericanos tenían ingresos per cápita superiores a la quinta parte de los de Europa Occidental, las tasas per cápita de patentes internacionales no llegaban a la quincuagésima parte de las tasas de la mayoría de los países europeos.

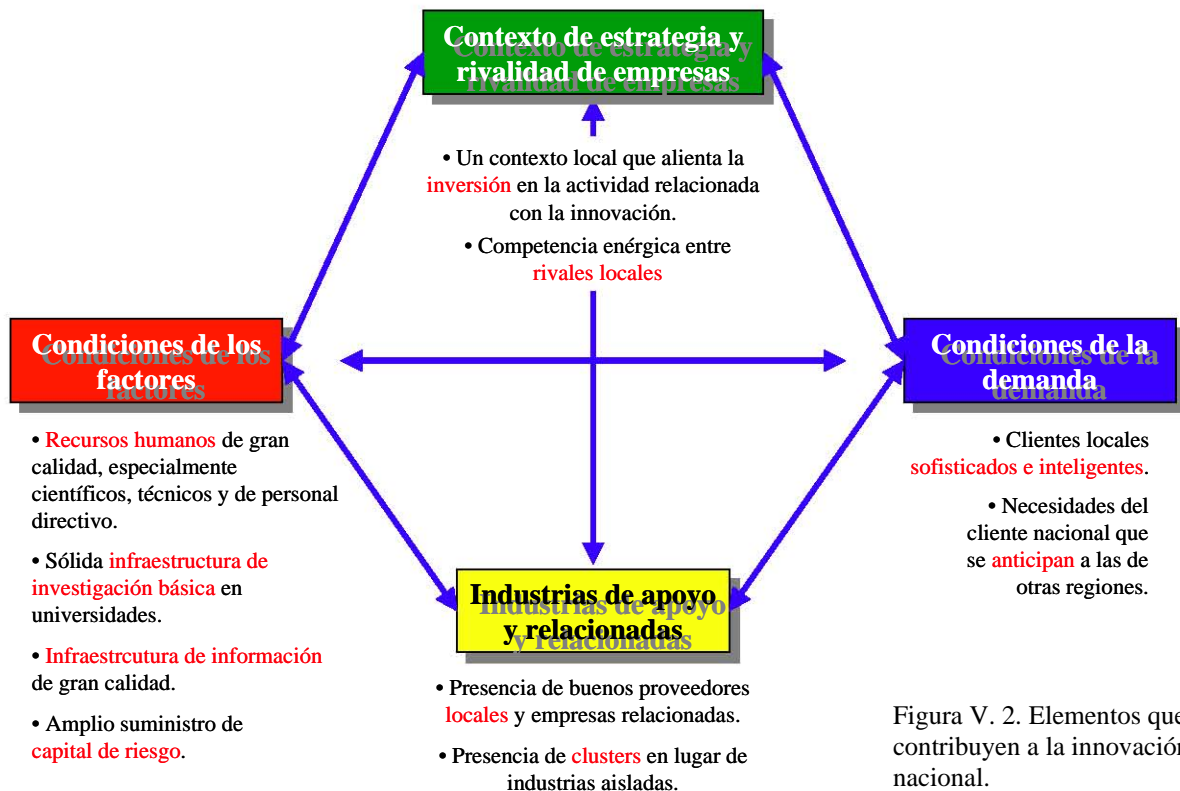


Figura V. 2. Elementos que contribuyen a la innovación nacional.

Fuente: Porter Michael, Stern Scott, "National Innovative Capacity", 2002

En muchas economías innovadoras importantes, el sistema universitario proporciona la formación necesaria para una fuerza laboral calificada técnicamente y lleva a cabo la investigación básica que pone los cimientos para los clusters industriales de un país. Sin embargo, en los países de habla hispana, las universidades han desempeñado históricamente una función limitada en el proceso de innovación. En lugar de participar en una interacción dinámica con la industria, la enseñanza superior de Latinoamérica con frecuencia ha permanecido aislada de la industria y sólo ha participado ligeramente en las políticas científica y tecnológica nacionales.

México debe su lugar 51 en el ranking de innovación a muy diversos y complejos factores de índole económica, política y social. El Dr. José Luis Fernández Zayas, investigador del Instituto de Ingeniería de la UNAM y Coordinador General del Foro Consultivo Científico y Tecnológico², comentó en una entrevista publicada el pasado 1º de agosto de 2005³, algunas de estas dificultades:

- La influencia de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) en la asignación de recursos para ciencia y tecnología ha tenido efectos "catastróficos" para el país, pues el déficit de centros científicos es de 500 y de 20 mil plazas en universidades e institutos de investigación, y expresó que en una década el país debería tener 500 universidades públicas.
- Indicó que la Secretaría de Educación Pública (SEP) está obligada por ley a invertir este año más 9 mil millones de pesos en investigación y desarrollo; sin embargo, desde hace dos años "no ha aportado nada" por "instrucciones" de la SHCP.
- Señala que si al menos 50 por ciento de los recursos que se destinan al sostenimiento del Fobaproa-IPAB se canalizaran a actividades científicas y educativas, este país sería "otro" en sólo una década, porque aumentarían los sueldos, el número de personas en el mercado de trabajo, la calidad de los empleos y, de manera importante, el producto interno bruto, al mismo tiempo que se reduciría el malestar social.
- Parte del problema ha sido la política "centralista" que desde hace años se aplica en diferentes sectores, incluido el científico. En este ramo, las consecuencias de esta visión "fundamentalmente económica" es que las oportunidades más importantes que se presentan en las regiones no se han aprovechado. Nuevo León, por ejemplo, uno de los estados más sólidos económicamente, no tiene una delegación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), asegura.
- La gente del gobierno no ha tenido buena planeación y esto ha sido una de "nuestras enormes desventajas en materia de competitividad". La Secretaría de Programación y Presupuesto, que ya desapareció, "se inventó" precisamente para dar razón a la planeación, pero la ley en la materia fue reformada para transferir sus funciones a la SHCP, explica. "Con base en esa ley, Hacienda decide todo en el ámbito de la ciencia y la tecnología: las plazas y los recursos que deberían ser canalizados mediante el Fondo Sectorial de Educación."

² El *Foro Consultivo Científico y Tecnológico* es el órgano autónomo y permanente de consulta del Poder Ejecutivo Federal, del Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico y de la Junta de Gobierno del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y asesora, a través de convenios, al Congreso de la Unión y al Consejo de la Judicatura Federal

³ "Catastrófica, la intromisión de la SHCP en el desarrollo científico", José Luis Fernández Zayas, La Jornada, 1º de agosto de 2005.

- José Luis Fernández Zayas recuerda que la SEP tiene la obligación de aportar al menos 400 millones de pesos a este fondo, debido a que este año tiene un presupuesto para investigación y desarrollo superior a 9 mil millones de pesos; "sin embargo, no ha puesto dinero desde 2003".
- El coordinador general del Foro Consultivo Científico y Tecnológico asegura que si la SHCP continúa manejando el destino del sector científico y tecnológico, México se acercará "gradualmente al último lugar en la competitividad mundial". La falta de recursos es un mito. Existen serios "déficit" en el sector y son en parte consecuencia de la política del "no hay dinero" o de que no se recauda lo suficiente, señala el investigador. Mientras esto ocurre, las universidades públicas, privadas y los centros de investigación padecen hoy un déficit de 20 mil plazas.
- Lo peor, dice el investigador, es que si se hubiera creado el número de sitios de investigación que determinan los planes de desarrollo, "no tendríamos los suficientes candidatos para llenarlas, porque no se han fabricado los jóvenes" por la restricción de becas que se otorgan. Lo anterior es "muy grave porque se está creando la conciencia, la cultura de la pobreza". Si se habla del número de centros e institutos de investigación que debería tener el país, ocurre lo mismo, porque "no tenemos ni la mitad" de los que se requieren.
- De acuerdo con un "inventario" reciente, añade el investigador, "hace poco tiempo teníamos alrededor de 400 y probablemente ahora hablemos de 500", pero ésta es una cifra que al menos tendría que duplicarse. En cuanto a las universidades públicas, "no me asusta decir que México tiene una década de plazo para decuplicar su capacidad". Actualmente hay alrededor de 50 instituciones de esta naturaleza, pero se requerirían 500 en 10 años, lo cual nos permitiría estar, no a la par de Estados Unidos, Suecia o Finlandia, "pero sí muy cerca de Corea, España, Portugal, Grecia e Italia".

Lo anterior pone de manifiesto que México no está en las mejores condiciones para incrementar su capacidad innovadora a los niveles que se manejan en los países de primer mundo. No obstante, es preciso comenzar a mejorar tal situación. Con este objetivo es que proponemos la nanotecnología como el campo de desarrollo gracias al cual México termine con la inercia que lo ha caracterizado en desarrollo de tecnología, siendo un mero espectador de las innovaciones y un usuario de los adelantos de otros países. En el cuadro V.1. enunciaremos las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que tiene México para comenzar a desarrollar nanotecnología, aunque es preciso notar que un análisis más completo requiere de tiempo y de la participación de todos los sectores involucrados. Tales resultados los obtuvimos de entrevistas que realizamos a investigadores, del análisis de publicaciones y de nuestras percepciones de la "Reunión Nacional de Nanociencias y Nanotecnología: Hacia un Programa Nacional" que se lleva a cabo en el IPICT. Este análisis fue fundamental para

comenzar el desarrollo del Plan Nacional de Nanotecnología, para definir su visión y las estrategias que en él se proponen.

V.2 Antecedentes de un Plan Nacional de Nanotecnología en México.

En mayo de 2002, El Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICT), fue sede del lanzamiento de una propuesta para un Programa Nacional de Nanociencia y Nanotecnología en México, impulsado por el entonces director del Instituto, el Dr. José Luís Morán López y el jefe del grupo de materiales avanzados del mismo instituto, el doctor Humberto Terrones Maldonado.

La propuesta fue presentada ante 31 investigadores de instituciones como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) y algunos asesores extranjeros de la Universidad de Texas (UT), y representantes de IBM. El objetivo fundamental de esta iniciativa es hacer un programa nacional que fomente y norme el desarrollo de la nanociencia y nanotecnología en México, así como formar una red de investigadores a nivel nacional que, mediante un esfuerzo coordinado, desarrollen tanto investigación básica como productos y procesos que culminen en nuevas tecnologías, que brinden solución a problemas del país, además de capacitar y formar recursos humanos.

Como resultado de esta reunión, a la que denominaron “Primera Reunión de Nanociencias y Nanotecnología: Hacia un Programa Nacional”, se plantearon varias estrategias para el desarrollo de la iniciativa, como buscar medios de financiamiento para la investigación básica y experimental; crear un sitio de Internet para dar a conocer sus investigaciones; crear centros de investigación con laboratorios especializados en nanociencia y nanotecnología, así como formar un comité representativo, el cual tendría como misión defender el proyecto ante la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Esta propuesta fue presentada a CONACYT en septiembre de 2002.

Los investigadores comprometidos con esta propuesta, decidieron continuar con sus esfuerzos para lograr dicha iniciativa, por lo que desde mayo de 2002, año con año se reúnen en el IPICT, con la finalidad de que los investigadores muestren los avances de sus investigaciones más recientes, y establecer los pasos a seguir para fortalecer la investigación de nanociencias y nanotecnología en México.

A N Á L I S I S		F O D A		
F o r t a l e z a s		D e b i l i d a d e s		
<p>Contamos con investigadores reconocidos internacionalmente que están trabajando en el área de nanotecnología.</p> <p>Existen laboratorios y equipos que están siendo aprovechados para desarrollar nanociencia.</p> <p>La UNAM, quien desarrolla el 50% de la investigación del país, fomenta el desarrollo de la nanotecnología a través de REGINA (Red de Grupos de Investigación en Nanociencia)</p> <p>México cuenta con un número importante de tratados comerciales que permiten el intercambio internacional de bienes y servicios.</p> <p>Hay cuatro años de trabajo previo para la elaboración del Plan Nacional de Nanotecnología, gracias a la "Reunión anual de Nanociencias y Nanotecnología" que organiza el IPICYT.</p> <p>Aproximadamente el 15% de los investigadores del área de materiales está trabajando en el área de nanociencia.</p> <p>Existe interés en México para entrar al campo de la nanotecnología, como lo demuestran los eventos que se han realizado en nuestro país y la formación de redes de investigación.</p> <p>El tema de la nanotecnología ha sido discutido en el Foro Consultivo Científico y Tecnológico (principal asesor del Estado en cuestiones de ciencia y tecnología) como un área a la que es necesario asignar recursos.</p> <p>Existe el interés de fomentar el desarrollo de esta área por parte de empresas transnacionales.</p>		<p>La mayoría de los investigadores en el área están dedicándose principalmente a la nanociencia, dejando de lado las aplicaciones prácticas de dichos desarrollos.</p> <p>No hay una vinculación real entre la investigación y la industria</p> <p>En la práctica, entre las prioridades nacionales, el desarrollo de ciencia y tecnología está en los últimos lugares.</p> <p>El entorno político del país no propicia la búsqueda de soluciones reales a la actual problemática del país.</p> <p>No hay conciencia plena de las potencialidades de la nanotecnología. No se ve a este campo como un área de oportunidad para el país.</p> <p>La mayoría de las empresas mexicanas son pequeñas y medianas empresas que no cuentan con recursos para desarrollar tecnología.</p> <p>No hay una visión general establecida, ni el trabajo multidisciplinario que se requiere para desarrollar nanotecnología.</p> <p>Idiosincracia del mexicano: resistencia al cambio, poca confianza en nuestras capacidades, conformidad, negatividad.</p> <p>El porcentaje del PIB dedicado a ciencia y tecnología es apenas del 0.4%</p>		I n t e r n o
O p o r t u n i d a d e s		A m e n a z a s		
<p>Hay un ambiente de optimismo a nivel mundial acerca de la nanotecnología.</p> <p>Muchos países están destinando apoyos financieros a otras naciones para promover el desarrollo de esta tecnología (en forma de becas o como financiamiento de proyectos)</p> <p>Podemos tener asesoría de muchos países que ya formularon planes o iniciativas de desarrollo de nanotecnología, para la realización de nuestro Plan Nacional de Nanotecnología.</p> <p>Hay campos de aplicación que representan para México áreas de oportunidad, por ejemplo, nanocatálisis para control de la contaminación.</p> <p>Están surgiendo nuevos nichos de mercado, por ejemplo, la producción de nanopartículas.</p>		<p>El desarrollo de la nanotecnología data de por lo menos cinco años en las naciones que actualmente liderean dicho sector.</p> <p>México comienza a perfilarse internacionalmente como un mercado consumidor de productos nanotecnológicos (como ejemplo el caso de Knanotech, empresa comercializadora de tres firmas alemanas productoras de nanotecnología)</p> <p>Existen nichos de mercado que han sido abarcados históricamente por algunos países, lo que dificulta la entrada de México a estos campos (ejemplo: EU, y la electrónica)</p> <p>Las economías emergentes pueden ocupar el lugar que actualmente ocupa México en la economía internacional.</p> <p>Hay organismos no gubernamentales que promueven los impactos negativos de la nanotecnología como una razón suficiente para no desarrollar dicha área.</p>		E x t e r n o
P o s i t i v o		N e g a t i v o		

Cuadro V.1. Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de México en el campo de la nanotecnología.

Los integrantes del equipo que elaboró esta tesis tuvimos la oportunidad de asistir a la “Tercera Reunión de Nanociencias y Nanotecnología, hacia un Programa Nacional”, la cual se llevó a cabo, los días 20, 21 y 22 de mayo de 2004, y contó con la participación de los representantes de 20 instituciones como la UNAM, UAM, UASLP, Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), CIMAV, Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), UT, IMP, CONACyT, entre otras. Los investigadores presentaron sus líneas de investigación, sus proyectos y sus colaboradores.

En la clausura de este evento se llevó a cabo una discusión acerca del rumbo que se debe tomar en materia de nanociencia y nanotecnología en el país, de donde se concluyó que se deben realizar las siguientes acciones:

- Buscar financiamiento adicional, ya que CONACyT no cuenta con los recursos para apoyar las investigaciones ni la iniciativa nacional.
- Reformular el Plan Nacional de Nanotecnología.
- Compartir equipo entre los diversos institutos de investigación.
- Concertar reuniones con diputados y Secretarías de Estado para buscar apoyo.
- Involucrar a la Fundación México Estado Unidos para la ciencia (FUMEC).
- Vincular a los grupos de nanociencia con los empresarios.
- Hacer partícipe a la Facultad de Ingeniería de la UNAM, con la intención de aprovechar el conocimiento generado por investigadores de nanociencia y darle un sentido práctico a sus desarrollos.

Además de los puntos anteriores, se crea la Sociedad Mexicana de Nanociencias y Nanotecnología (SOMENANO), en donde varios investigadores, presentes en la tercera reunión, se afilian como miembros, quedando como presidente de dicha asociación el Dr. Humberto Terrones Maldonado. El objetivo principal de SOMENANO es promover la nanociencia y la nanotecnología en México, así como apoyar a estudiantes y a organizaciones con fines comunes.

Dentro de las principales actividades de la SOMENANO a corto y mediano plazo, se encuentran:

- Agrupar a los científicos, tecnólogos, técnicos y estudiantes del país involucrados en nanociencias y nanotecnología con la finalidad de poder concentrar esfuerzos ante los nuevos retos que imponen nuevas tecnologías en ciencia de materiales, fármacos, medio ambiente, energía, electrónica, agricultura, etc.
- Dar difusión y divulgar a todos los niveles la importancia, beneficio y riesgos de las nanociencias y la nanotecnología. Es importante recalcar que la sociedad requiere de estar bien informada en asuntos científicos relacionados con nuevas tecnologías. Asimismo, en un futuro, será necesario legislar sobre

nuevos adelantos, por lo que la Sociedad Mexicana de Nanociencias y Nanotecnología podrá apoyar para otorgar la información adecuada.

- Organizar eventos nacionales e internacionales con la finalidad de intercambiar experiencias sobre los adelantos más importantes que involucra la nanociencia y la nanotecnología.
- Apoyar a estudiantes de todos los niveles, en particular a los de posgrado que estén interesados en nanociencias y nanotecnología. Se pretende apoyar a los mejores estudiantes para realizar becas tesis en estas áreas.
- Dar asesoría a centros educativos y de investigación sobre nanociencias y nanotecnología⁴

En mayo de 2005 se realizó la “Cuarta Reunión de Nanociencias y Nanotecnología: Hacia un Programa Nacional”, dicha reunión se llevó a cabo bajo el mismo esquema de los años anteriores. En esta ocasión atrajo nuestra atención la presencia de: National Academy of Sciences (NAS) de Estados Unidos, Academia Mexicana de la Ciencia, Fundación México Estados Unidos de la Ciencia (FUMEC), así como la participación de representantes de industrias como SISPSA Peñoles, Centro de Investigaciones MABE- Querétaro, Centro de Tecnología Textil Grupo Cydsa, Vitro y Hitachi San José Research Laboratory.

La participación de la NAS, pretende establecer una colaboración entre las academias de ciencia de México y Estados Unidos, y se plantearon objetivos como:

- Analizar la perspectiva general de la nanociencia en México.
- Identificar áreas para establecer una colaboración binacional en esta área.
- Definir un plan de acción para incrementar la cooperación entre las academias de México y Estados Unidos en nanociencia.

En mayo de 2006 se realizará la “Quinta Reunión de Nanociencias y Nanotecnología: Hacia un Programa Nacional”. Esperamos que en esta ocasión se de una mayor difusión del evento y de sus resultados, así como lograr una mayor participación de las organizaciones que puedan darle impulso a esta iniciativa.

V.3 Visión, misión y objetivos del Plan Nacional de Nanotecnología

Saber a dónde se quiere llegar, es decir, la formulación de la visión, misión y objetivos, debe ser el principal paso que se de en la formulación oficial del Plan Nacional de Nanotecnología. A continuación exponemos algunas ideas que pueden ser explotadas y desarrolladas en este sentido.

⁴ <http://somenano.ipicyt.edu.mx/acercade/index.html>

Visión

México, apoyado en sus recursos humanos y materiales, desarrollará innovaciones tecnológicas basadas en nanotecnología que contribuyan al desarrollo sustentable del país, posicionándose al nivel tecnológico, económico y de bienestar social de las principales potencias mundiales.

Misión

El Plan fomentará en México el entendimiento y capacidad de control de la materia a escala nanométrica, promoviendo el desarrollo tecnológico y la innovación de procesos; con la participación y desarrollo de técnicos, científicos, empresarios y políticos que incentiven dichos desarrollos. Dirigirá las estrategias, acciones, actores, y el uso de infraestructura y recursos monetarios para asegurar el alcance de la visión.

Objetivos

- Divulgará los avances y beneficios de la nanotecnología.
- Coordinará el trabajo nacional relativo al desarrollo del área.
- Definirá las acciones de cada uno de los actores involucrados.
- Asignará el presupuesto destinado a cada uno de los programas, institutos u organismos encargados de desarrollar o promover la nanotecnología.
- Definirá el nivel y tipo de colaboración entre los diferentes actores, estableciendo las alianzas más oportunas para incentivar o perfeccionar sus funciones.
- Asegurará la construcción y equipamiento del Instituto Mexicano de Nanotecnología.
- Promoverá la creación y actualización de infraestructura.
- Fomentará, mediante el estudio y control de la materia a nanoescala, el desarrollo de tecnología que beneficie el nivel de vida de los mexicanos.
- Establecerá las acciones para formar especialistas y mano de obra calificada.
- Promoverá entre las instituciones de educación del país, la divulgación de la nanotecnología, desde los niveles más básicos de formación.
- En las escuelas de educación superior se implementarán licenciaturas, especialidades o posgrados relacionados con nanotecnología.
- Propiciará un marco legal y comercial para el libre intercambio de tecnología para desarrollar el campo de investigación a escala nanométrica.
- Promoverá el intercambio de información y establecerá convenios de colaboración con instituciones extranjeras del ramo nanotecnológico.
- Promoverá la creación de nuevos nichos de mercado y nuevas empresas.
- Posicionará internacionalmente a México como productor de tecnología.
- Contribuirá al cambio de paradigma tecnológico en México.

V.4 Estrategias

A continuación presentamos algunas ideas que consideramos fundamentales en la elaboración de estrategias del Plan Nacional de Nanotecnología. Dichas ideas son resultado del análisis de las conclusiones a las que se ha llegado en las reuniones anuales de nanociencia y nanotecnología, que se llevan a cabo en el IPICYT. Incluimos, además, ideas clave que tomamos de los planes de otros países. El resultado del análisis de estos documentos se resume en las siguientes estrategias, sumando además conceptos que consideramos importante para alcanzar la visión del Plan.

V.4.1 Infraestructura

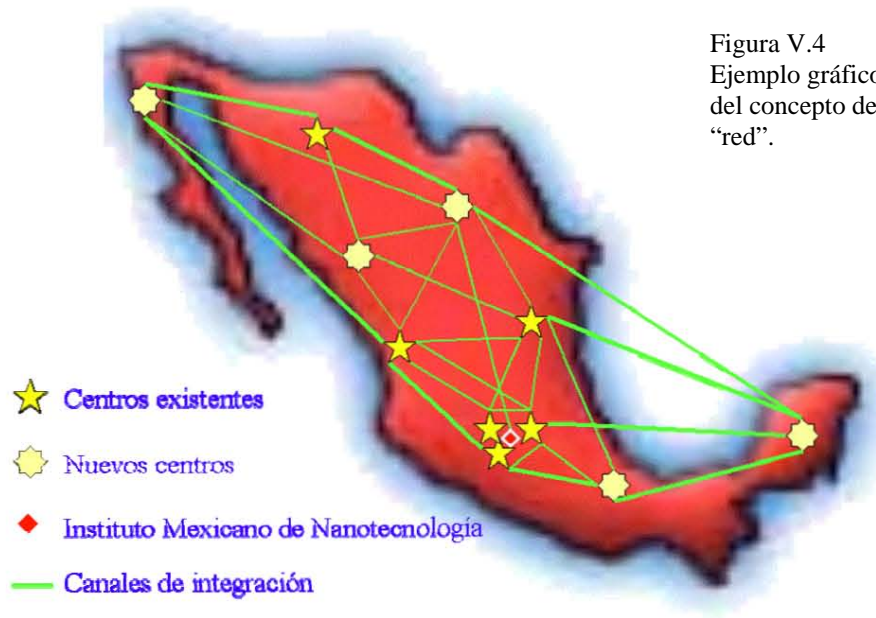
El objetivo principal es crear una infraestructura balanceada, fuerte, y flexible para desarrollar ciencia y tecnología en nanoescala. Este tipo de infraestructura se requiere para estimular un rápido crecimiento del campo. Los investigadores deben contar las herramientas para caracterización de nanoestructuras, manipulación, manejo computacional y demás sistemas necesarios. Los centros de investigación que serán creados deberán contar con este tipo de equipos y con grupos de investigación integrados multidisciplinariamente para lograr la efectividad en diferentes disciplinas científicas. Será necesario, además, establecer mecanismos de financiamiento que promuevan la colaboración entre los diferentes centros, universidades, laboratorios, y la industria.

Dicha infraestructura deberá integrarse en una red de diversos centros especializados a lo largo del territorio mexicano. Estas “células” serán centros de investigación de índole académica, centros dependientes de empresas estatales y privadas y organismos y asociaciones no gubernamentales. Esta red nacional permitirá la disponibilidad de equipo compartido, proyectos conjuntos y la elaboración de un catálogo de cursos de postgrado impartidos en los diferentes centros. Estos organismos deberán ponerse en contacto con otros centros internacionales de excelencia para realizar labor de investigación conjunta y crear centros vinculados internacionalmente, con objetivos bien definidos y acordes a nuestra realidad nacional.

Además, deberá existir un instituto principal, el Instituto Mexicano de Nanotecnología, lugar en que finalmente convergerá el trabajo generado en el resto de los centros y cuya función principal, además de generar avances en el ramo, será coordinar el resto de las células de este sistema, supervisando y facilitando la colaboración entre ellas.

El término “red” se debe a que cada centro, a pesar de ser independiente, estará conectado con los otros centros por medio de la transferencia de información y libre acceso a sus áreas y laboratorios. Para lograr este objetivo, la red deberá poner mucha atención en los canales de comunicación que utilice, lo cuales deberán garantizar la transparencia y confiabilidad de sus informes y hallazgos. Ante esto, nos permitimos sugerir el uso de bases de datos compartidas, y encuentros de

presentación de avances y problemática en reuniones periódicas en las que estará representado cada uno de los integrantes de la mencionada red.



V.4.2 Instituto Mexicano de Nanotecnología

La creación de un Instituto Mexicano de Nanotecnología es necesaria por diversas razones, que pueden resumirse en las siguientes:

- Existen grupos de investigación de calidad internacionalmente reconocida. En el entorno de la comunidad universitaria se concentra un porcentaje substancial de los investigadores mexicanos relacionados con el área, por lo que es de vital importancia contar con una sede que pueda albergar estos esfuerzos.
- La investigación en este terreno es necesariamente multidisciplinaria, lo que exige un cambio en la mentalidad de los investigadores de diversos campos y en particular, un entorno que favorezca su colaboración real.
- La necesidad de competir en el marco internacional exige la agrupación de fuerzas entre nuestros grupos de investigación, la existencia de una sede común donde localizar la infraestructura necesaria y la formación de grupos multidisciplinarios.

El Instituto Mexicano de Nanotecnología deberá vigilar que se lleven a cabo las acciones planeadas y acordadas entre los miembros de la red, así como idear estrategias para garantizar su solvencia económica y buen funcionamiento.

El Instituto de Nanotecnología debe hacer un fuerte énfasis en la vinculación, colaboración y participación de las universidades, industria, organizaciones de investigación y demás interesados significativos incluyendo elementos expertos internacionales. Para ello, deberá trabajar a puertas abiertas, para no dejar fuera a

ningún posible miembro de la red, sin importar de dónde venga, siempre y cuando dicho elemento posea interés y disposición para trabajar.

El Instituto de Nanotecnología debe ser planeado como un sitio multipropósito, en el que se realice investigación básica, en el que se desarrollen nuevos productos, en el que se de la pauta para la integración y comunicación, la sede donde se establezcan acuerdos y convenios, etc.

El plan de trabajo del Instituto debe centrarse en las áreas dominantes de la nanotecnología, sin dejar de lado las áreas restantes, por supuesto, pero sí se le debe dar mayor peso a aquellas áreas de la investigación donde se aseguren resultados comercializables, con el fin de que el Instituto sea hasta cierto punto, autosuficiente. Hay que hacer énfasis en que la investigación llevada hacia fuera por el Instituto y sus socios debe estar vinculada con la Industria.

El Instituto debe ser establecido físicamente en un sitio donde ya se cuenten con expertos nanotecnólogos para asegurar la consolidación y desempeño del mismo. En esta propuesta sugerimos que el Instituto Mexicano de Nanotecnología sea establecido en alguna sede de la Universidad Nacional Autónoma de México, ya que esta institución realiza el 50% de la investigación nacional y tiene el mayor número de investigadores de nanotecnología.

La Universidad Nacional Autónoma de México cuenta con varias dependencias que realizan trabajos relacionados con nanotecnología, como el Instituto de Física, el Instituto de Materiales, el Centro de Investigaciones en Energía, el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, entre otros. Cuenta, además, con REGINA, la Red de Grupos de Investigación en Nanociencias, que de acuerdo con los resultados obtenidos en las entrevistas que realizamos, se complementa de manera que la infraestructura sea útil a cada uno de los grupos que integran la red. Uno más de los criterios por los que seleccionamos dicha institución es el reconocimiento internacional que tiene.

Proponemos que las funciones que tendrá el Instituto Mexicano de Nanotecnología abarquen las siguientes áreas:

- a) Procurar, verificar y dar seguimiento al financiamiento dedicado a la investigación multidisciplinaria entre los centros participantes en la red.
- b) Apoyar de manera continua los proyectos individuales y de pequeños grupos. Procurará atraer investigadores de otras disciplinas y aumentar el número de científicos jóvenes y estudiantes que se dediquen a las nanociencias.
- c) Detectar los centros de investigación en el país, que por sus características de infraestructura puedan ser sedes de proyectos de nanociencia y nanotecnología y procurar su financiamiento.
- d) Procurar recursos para becas de estudiantes, técnicos y posdoctorados que se encuentren involucrados en programas de Nanociencias y Nanotecnología.
- e) Dar apoyo para la creación de laboratorios de enseñanza en el campo.

- f) Procurar la divulgación por parte de la comunidad científica acerca de los beneficios y alcances de la nanotecnología.
- g) Apoyar el desarrollo de infraestructura, contribuyendo al reforzamiento de la ya existente a través de la adquisición de equipo especializado y de equipo de cómputo mediano y supercómputo.

Los posibles participantes en el Instituto Mexicano de Nanotecnología pueden ser investigadores pertenecientes a dependencias de la UNAM como son: Instituto de Física (IF), Instituto de Investigación en Materiales (IIM), Instituto de Ingeniería (II), Instituto de Química (IQ), Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA), Centro de Investigación en Energía (CIE), Centro de Ciencias de la Materia Condensada (CCMC), Facultad de Ciencias (FC), Facultad de Química (FQ) y Facultad de Ingeniería (FI). Así como investigadores de otras instituciones como son: Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Instituto Politécnico Nacional (IPN), Centro de Investigación y Tecnología Avanzada (CINVESTAV), Universidad Autónoma de San Luís Potosí (UASLP), Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICyT), además de todas aquellas instituciones existentes y nuevas que estén interesadas en el desarrollo de la nanotecnología. La presencia de un porcentaje mayoritario de jóvenes investigadores es esencial para asegurar el éxito del proyecto. Podría considerarse la posibilidad de que existan laboratorios asociados al Instituto, aunque no situados físicamente en el edificio de éste.

La Nanotecnología abarca campos tan diversos que será preciso enfocar adecuadamente la actividad del Instituto para que esta investigación interdisciplinaria resulte de la máxima efectividad e impacto. Tomando en cuenta el estado del arte internacional, las actividades científicas del Instituto se podrían configurar inicialmente alrededor de cuatro grandes áreas:

- 1.- Síntesis y procesado de materiales orgánicos, inorgánicos e híbridos de tamaño nanoscópico mediante métodos físicos, químicos y biológicos.
- 2.- Caracterización de propiedades únicas dependientes del tamaño.
- 3.- Modelización y Simulación de procesos sintéticos, de ensamblado y de interacción.
- 4.- Fabricación y aplicación de nuevas nanoestructuras y nanodispositivos.

En estas cuatro áreas se podría desarrollar actividad en algunos o varios de los siguientes temas científicos en los que se ha detectado actividad en los grupos de investigación existentes:

Nanotubos: Fabricación mediante diversas técnicas; propiedades mecánicas, transporte eléctrico; fabricación en serie; empleo en transistores de un solo electrón; dopado.

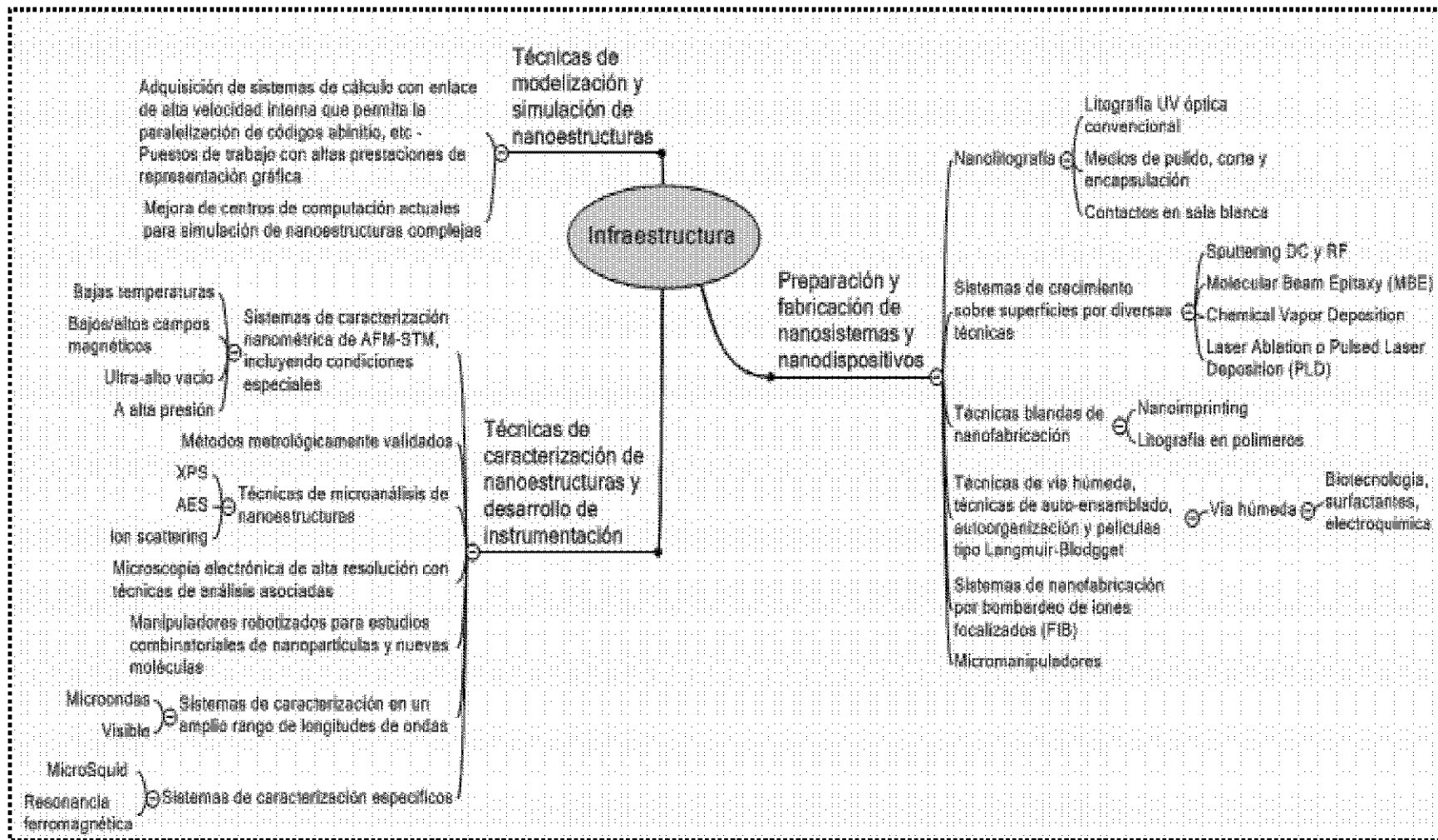


Figura V.3 Infraestructura necesaria para desarrollo de nanociencia y nanotecnología.

Fuente: Informe sobre la situación de nanociencia y nanotecnología en España. Propuesta de acción estratégica dentro del Plan Nacional de Investigación y Desarrollo (2004 – 2007)". Red Española de Nanotecnología, 2004

Materiales moleculares: Síntesis de materiales moleculares con propiedades ópticas, magnéticas o electrónicas no convencionales.

Nanomagnetismo: Fabricación y estudio de sistemas de partículas magnéticas autoensambladas. Utilización de nanopartículas magnéticas para la detección e identificación de moléculas orgánicas específicas (anticuerpos, proteínas, etc.). Modelado de sistemas magnéticos nanoscópicos.

Electrónica molecular y nanoelectrónica: Reducción de tamaño (“top-down”) en la electrónica tradicional basada en semiconductores; alternativas moleculares a los dispositivos basados en semiconductores.

Computación cuántica: Implementación física de bits cuánticos: Síntesis de materiales complejos por auto-ensamblado u otras aproximaciones “bottom-up”; síntesis de moléculas orgánicas clave para biosensores y electrónica molecular.

Química bio-orgánica y bio-inorgánica: Procesamiento nanotecnológico de las partículas que forman los productos farmacéuticos hidrofóbicos; interacciones entre biomoléculas.

Nanocatálisis: Diseño y fabricación de catalizadores en la escala nanométrica más eficientes y selectivos, con aplicaciones industriales y en el medio ambiente.

Herramientas y métodos de fabricación de nanodispositivos y nanomáquinas: Nanomanipulación; nanocableado usando polímeros; nanoimpresiones y nanolitografía; motores moleculares; interruptores atómicos de contacto.

Implicaciones sociales de la nanotecnología: Implicaciones sobre la salud, el trabajo, la economía o la estructura social de los desarrollos en nanotecnología; docencia en nanotecnología.

Secciones	m ²
Salas Blancas	147.82
Baños	153.27
Almacenes y mantenimiento	416.01
Áreas de esparcimiento	1014.05
Accesos	1086.32
Oficinas	2033.27
Laboratorios	2317.94
Total	7168.68

Tabla V.1 Propuesta de distribución de áreas y secciones del Instituto Mexicano de Nanotecnología

Como resultado del trabajo previo de investigación con relación a lo que otros países han considerado para la creación y diseño de un instituto de nanotecnología, tomamos como base para realizar esta propuesta un estudio realizado en España, cuyo objetivo

fue definir los lineamientos para concursar en la licitación del proyecto de construcción de lo que será el Instituto de Nanotecnología y Diseño Molecular del Parque Científico de Madrid⁵. Los datos contenidos en la tabla pueden servir de referencia para la creación del Instituto Mexicano de Nanotecnología.

V.4.3 Creación de “clusters”

Una enseñanza de la experiencia internacional es la conformación de “clusters”, grupos geográficamente próximos de empresas, instituciones de investigación y organismos gubernamentales, que vinculados por características comunes y complementarias fomentan el desarrollo del área que tienen en común. Las agrupaciones de empresas llevan consigo un elemento de conocimiento tácito en lo que respecta a tecnología, capacidades, productos y procesos, que suele ser específico para cada conjunto de empresas y va acumulándose a lo largo del tiempo. Por otro lado, la innovación y el avance tecnológico constituyen un proceso que se desarrolla progresivamente basado en este conocimiento. Además, la importancia de las políticas públicas en cuanto a infraestructura, capital humano y difusión tecnológica pueden desempeñar un papel fundamental en el sostenimiento de las zonas ya establecidas e incluso en el fomento en la aparición de otras nuevas.

El espacio de innovación más emblemático de todo el mundo es el Silicon Valley, o Valle del Silicio, un área comprendida en torno a un radio de 50 km alrededor de San José, al sur de San Francisco en Estados Unidos. En su origen, jugó un papel trascendental, aunque no exclusivo, la Universidad de Stanford que gracias a la visión y dinamismo de algunos de sus dirigentes y profesores se convirtió en su principal impulsor. También fueron factores importantes el hecho de que no hubiera una tradición industrial previa que pudiera bloquear la apertura de la región hacia nuevas actividades económicas, así como el financiamiento por parte del gobierno federal a actividades de investigación y desarrollo, lo que potenció sus centros tecnológicos.

Uno de los aspectos más característicos del Silicon Valley es su “capital social”. Se trata de la coexistencia de la competitividad y de la cooperación, orientada a la innovación. El principal “valor social” normativo es que la credibilidad de las personas no se prejuzga, sino que surge a partir de sus acciones: *from performance to trust*, que podría traducirse como *tanto haces, tanto vales*.

Como soporte de todo lo anterior se encuentran una serie de redes e instituciones: las universidades de Stanford y Berkeley generando ciencia y tecnología; los fondos de *capital de riesgo* aportando financiamiento; las empresas cazatalentos proporcionando recursos humanos calificados; los bufetes de abogados ayudando a proteger los derechos de propiedad intelectual de las innovaciones; y un mercado laboral que favorece la movilidad.

⁵ “Propuesta de creación del Instituto de Nanotecnología y Diseño Molecular”. Antonio Echevarren, España, 2003.



Figura V.5 “El ecosistema del Silicon Valley”.

Fuente: “El Silicon Valley como paradigma”, Andrés Font, Observatorio de la Sociedad de Información, España, 2005.

Para el desarrollo de la nanotecnología, este tipo de vinculación es trascendental. Es necesaria la colaboración de la industria privada, de los centros de investigación y, sobre todo del gobierno para procurar su desarrollo, a través de reglas y convenios que se vean reflejados en mayores recursos económicos, infraestructura y capacidades.

En este caso, los clusters permitirán habilitar proyectos interdisciplinarios que emergerán conforme la nanotecnología se desarrolle; estos clusters se deben financiar adecuadamente para permitir que se conviertan en líderes en el desarrollo de tecnología. El papel del gobierno será facilitar la implantación legal de estos proyectos, apoyando con regulaciones e incentivos fiscales, mientras la academia aporta sus conocimientos e infraestructura y la industria aprovecha y desarrolla de manera aplicada dichos conocimientos.

En México existen esfuerzos encaminados a la construcción de un complejo industrial de alta tecnología que pretende convertirse, según sus promotores, en la versión mexicana del Silicon Valley estadounidense. El complejo mexicano, llamado Silicon Border (Frontera del Silicio) estará ubicado en una zona que colinda con la frontera sur de Estados Unidos, en Mexicali, Baja California. En la elección del lugar influyeron factores como el número de habitantes que pueden proporcionar mano de obra, la

infraestructura educativa (se tiene previsto que la Universidad Autónoma de Baja California y el Tecnológico de Monterrey participen), el suministro de agua y electricidad y, por supuesto, que está situado en la frontera⁶.

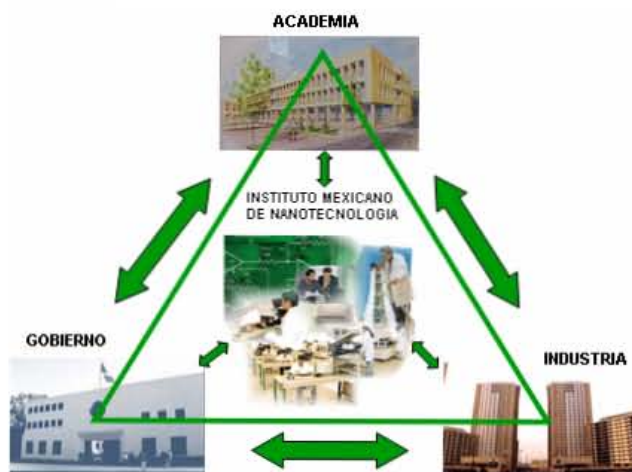


Figura V.6 Esquema gráfico del concepto de “cluster”. La colaboración del gobierno, la academia, y la industria dará impulso al desarrollo de la nanotecnología. Al centro, como coordinador, el Instituto Mexicano de Nanotecnología.

En marzo de 2006 se anunció la posible conversión del Centro de la Materia Condensada de la UNAM, a Instituto de Nanotecnología. Esta información fue anunciada por el doctor Sergio Fuentes Moyado al ser designado director de esta dependencia para el periodo 2006 a 2010. Planteó, además, que la conversión del centro en instituto es congruente con la creación de parques de desarrollo tecnológico en la frontera con Estados Unidos, ya que en Tijuana se localiza el polo de la televisión digital y en Mexicali el futuro Parque de Tecnología Avanzada Frontera del Silicio. En ambos casos se requiere gente bien preparada que pueda resolver las necesidades de enseñanza, servicios, investigación, capacitación e innovación. En el caso de la Frontera del Silicio, la nanotecnología será un factor determinante de innovación para los cientos de compañías que allí se instalarán. Se considera que en los próximos diez años se requerirán cinco mil científicos para generar innovación tecnológica.⁷

En la figura V.6 mostramos esquemáticamente la forma básica de un cluster y los canales correspondientes de su esquema de colaboración. Incluimos, además, al Instituto Mexicano de Nanotecnología como coordinador y supervisor del esfuerzo que dentro de este sistema se lleve a cabo.

⁶ “Este año comenzarán las obras de la versión mexicana del Silicon Valley”. La Jornada, domingo 30 de octubre de 2005.

⁷ “Trabaja Ciencias de la Materia Condensada su cambio a instituto”. Gaceta UNAM, 9 de marzo de 2006.

V.4.4. Formación de recursos humanos

Para cualquier área tecnológica, emergente o no, contar con recursos humanos capacitados es vital para su evolución. La nanotecnología no es la excepción y muchos países están destinando importantes recursos a una de las principales estrategias en el área: la capacitación del personal que con su labor hará posible las metas y objetivos de la nanotecnología.

Para lograr que México logre avances significativos será necesaria la formación de recursos humanos, a través de licenciaturas, especializaciones y posgrados enfocados al desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología. Los estudiantes de estos programas recibirán una capacitación integral para cubrir el carácter multidisciplinario del tema. Es muy importante considerar que los cambios en estas áreas se dan con una gran velocidad, por lo que es vital actualizar los programas de acuerdo con las innovaciones que surjan a través del tiempo.

El financiamiento debe considerar los sistemas de becas para estudiantes en el extranjero. Será muy importante mandar a nuestros estudiantes a realizar posgrados en el área de la nanotecnología en países que lideran dicho sector. Conocer a fondo la visión de estos países y su forma de trabajo nos permitirá reconsiderar lo que nosotros estemos haciendo y sus alcances.

Se debe comenzar con talleres y cursos de verano enfocados en el tema de la nanotecnología para que los estudiantes comiencen a tener interés en el campo. Además, debe considerarse la posibilidad de crear un foro nacional sobre nanociencia y nanotecnología, el cual proporcionaría una buena apreciación del tema y ampliaría el interés del público en general. Los programas de “Jóvenes Hacia la Investigación”, que se manejan en bachillerato, deben contar entre sus opciones con investigaciones relacionadas con nanociencia y nanotecnología, para contar desde este nivel con potenciales recursos humanos.

Es importante comenzar una campaña de difusión de lo qué es la nanotecnología y sus alcances, de manera general, para los niveles básicos de educación. Podemos retomar algunas ideas del programa “Nanokids” de Estados Unidos, o de programas de la Unión Europea para enseñar a los niños de manera didáctica y sencilla cómo la nanotecnología puede llegar a modificar nuestra forma de vida.

Las universidades deben propiciar, además, la colaboración con la industria. A través de convenios se puede establecer acuerdos de cooperación que beneficiarán a la industria con la infraestructura y los conocimientos de las instituciones educativas y de investigación, y los estudiantes podrán vivir de manera cercana el proceso de llevar a realidades comerciales los resultados de las investigaciones. Es importante para la elaboración de la currícula atender la necesidad de establecer contacto con la industria y los estudiantes; lo que puede lograrse a través de seminarios, estancias profesionales, prácticas, etc. que deberán ser establecidas de manera obligatoria en el programa de estudios.

Plan de Estudios de Ingeniería en Nanotecnología

Primer año

Primer Semestre

Cálculo I para Ingenieros
Álgebra Lineal con Aplicaciones Numéricas
Computación para Ingenieros
Principios de Química
Física para Ingeniería Nanotecnológica

Segundo Semestre

Cálculo II para Ingenieros
Química Orgánica para Ingeniería
Nanotecnológica
Introducción a la Ingeniería
Nanotecnológica
Introducción a Química Inorgánica,
Ingeniería y Ciencia de Materiales
Probabilidad y Estadística

Tercer año

Quinto Semestre

Métodos Matemáticos para Ing.
Nanotecnológica
Termodinámica Estadística
Microfabricación y Tecnología de Películas
Delgadas
Electrónica y Circuitos Integrados
Optativa

Sexto Semestre

Introducción al Diseño de Nanosistemas
Ciencia Macromolecular II
Diseño de Micro y Nanosistemas Asistido
por Computadora
Dispositivos y Materiales Fotónicos
Superficies e Interfases
Nanoexploración y Litografía

Optativas

- Micro y Nanoinstrumentos
- Física, Tecnología y Aplicaciones de Nanoelectrónica
- Introducción a Biosistemas
- Introducción a Nanoingeniería de Materiales
- Proyectos de Ingeniería Nanotecnológica
- Temas Selectos de Instrumentación
- Temas Selectos de Nanoelectrónica
- Temas Selectos de Biomateriales a Nanoescala
- Temas Selectos de Nanoingeniería de Materiales

Segundo año

Tercer Semestre

Cálculo Avanzado I para Ingenieros
Estructura de la Materia
Bioquímica para Ing. Nanotecnológica
Mecánica Cuántica
Optativa

Cuarto Semestre

Cálculo Avanzado II para Ingenieros
Ingeniería Económica
Caracterización de Materiales
Ciencia Macromolecular I
Dispositivos Electrónicos

Cuarto año

Séptimo Semestre

Proyecto de Diseño de Nanosistemas
Optativa
Optativa
Optativa

Octavo Semestre

Congreso de Diseño de Nanosistemas
Optativa
Optativa
Optativa

Cuadro V.2 Propuesta de Plan de Estudios de Ingeniería en Nanotecnología. Fuente: Universidad de Waterloo, Canadá, 2005.

El IPICYT ya cuenta con un programa de maestría y otro de doctorado en Ciencias Aplicadas, ambos con opción terminal en nanociencias y nanoingeniería. La UNAM, la UAM, y otras universidades incluyen temas relativos al área en sus programas de maestrías y doctorados. Es necesario ampliar estos esfuerzos hacia el área de licenciaturas, para formar profesionistas de nanotecnología cuya formación les capacite altamente para el desempeño de actividades de desarrollo tecnológico e investigación. En el cuadro. V.2 describimos la estructura de lo que es el Plan de Estudios de Ingeniería en Nanotecnología, licenciatura que se está impartiendo en la Universidad de Waterloo, en Canadá. Este plan de estudios puede servir como referencia para adecuar un programa de educación nanotecnológica en México.

V.4.5 Trama social del desarrollo tecnológico.

Un punto estratégico para el Plan Nacional de Nanotecnología, es identificar a los grandes talentos y a aquellas personas que son reconocidas por los demás, aquellos que son capaces de hacer que otros los sigan y apoyen. El tener identificados a los líderes nanotecnólogos en el país, facilitará la tarea de convocar voluntades para llevar a cabo las acciones y estrategias de este plan. El modo de incorporación de los actores y sus posibles aportaciones al sistema lo denominamos “trama social”.

Dado que la mayoría de los científicos poseen conocimientos técnicos y no cuentan con una formación en la que se fomenten las habilidades directivas, es necesario ubicar a quienes cuenten con estas capacidades para socializar y ganar voluntades de manera diplomática. Actores como estos son necesarios para llevar las ideas, investigaciones y resultados hacia mecanismos o entidades que puedan difundir el conocimiento y vender ideas y/o productos, además de conseguir recursos financieros y/o capital de riesgo para realizar inversiones en investigación. Gran parte del apoyo que se logre hacia el Plan Nacional de Nanotecnología será resultado de la participación de los líderes de opinión, es decir, aquellos que cuentan con el reconocimiento de sus iguales como personajes confiables, oportunos, asertivos, con buen nivel de inteligencia emocional, etc.

Se encuentran también personalidades respetadas en el medio de la nanotecnología por su nivel de conocimiento y resultados científicos. Este liderazgo es llamado “de innovación”. Los líderes en esta área serán responsables de incorporar las voluntades de sus colegas para lograr conseguir los resultados planeados, así como coordinarlos en función de objetivos innovadores y de beneficio para nuestra sociedad. Los líderes de innovación participarán en el Plan Nacional de Nanotecnología asesorando acerca de qué áreas nuevas pueden ser abarcadas, sobre cuáles tienen más futuro y cuáles traerán más beneficio a nuestro país.

Una de las técnicas utilizadas en planeación para detectar dichos talentos en liderazgo es la de analizar los resultados obtenidos en la aplicación de

sociogramas. Los sociogramas son herramientas que nos permiten detectar el liderazgo informal en una organización. Se obtienen mediante la aplicación de exámenes sociométricos que incorporan preguntas tales como: ¿a quién considera la persona con más conocimientos y cualidades de liderazgo?, ¿a quiénes considera como las personas más respetadas en el medio?, ¿con quién le gustaría trabajar?, ¿con quién prefiere no hacerlo?, ¿quién cree que posee más habilidades técnicas o sociales?, ¿quién considera usted que trabaja con honestidad y un alto grado de colaboración?, ¿en quién confía o con quién mantiene cierta relación de amistad?, etc. Hecho esto se realiza la estadística correspondiente y se comienza a trabajar con aquellas personas que tuvieron un notable número de menciones. La figura V.7 muestra de manera gráfica el resultado que se espera obtener de la aplicación de un sociograma. Es probable que la herramienta nos permita ubicar a diferentes personajes como líderes de opinión y otros personajes como líderes de innovación, pero también existe la posibilidad de que los resultados muestren que uno o varios personajes son líderes de innovación y de opinión simultáneamente, lo cual es ideal, pero no imprescindible.

Con la difusión del Plan Nacional de Nanotecnología se abrirán espacios y se ganarán aliados que facilitarán e impulsarán su desarrollo. Esta difusión debe alcanzar a todos los sectores: la academia e investigación, la industria y el gobierno. El papel de esta última instancia será vital para lograr el apoyo económico y el respaldo jurídico para la evolución de la nanotecnología en nuestro país. Esta estrategia, enfocada a buscar el respaldo para el Plan Nacional de Nanotecnología, debe contar con canales de comunicación eficaces, y estará dirigida esencialmente a los encargados de tomar decisiones, incluyendo gobiernos federales y provinciales, universidades e industria. La estrategia hará énfasis en las ventajas potenciales de la nanotecnología, tanto regionales como nacionales; así como las ventajas económicas que representará para las empresas que la implementen en sus sistemas productivos. Habrá, además, un programa de difusión general enfocado especialmente a cada sector: desde educación básica hasta grados avanzados de especialización, pasando por la educación media y profesional, incluyendo el público en general.

El respaldo de la industria es esencial para el éxito de la iniciativa. Los líderes de la misma son un punto importante al que se debe dar atención e informar, así mismo, se debe identificar a los nuevos talentos que surgirán en las empresas nuevas. La integración de este sector tendrá como fin primordial la unificación con la academia e investigación y con el gobierno para la formalización de clusters nanotecnológicos. La estrategia buscará transmitir a los empresarios el entusiasmo por la nanotecnología, haciendo énfasis en los alcances tecnológicos de acuerdo al tipo de industria y cómo podrán éstos mejorar los procesos productivos, aunado al beneficio económico que representarán. La estrategia debe incluir incentivos fiscales que motiven a las empresas a invertir en el desarrollo de la nanotecnología.

Liderazgo de opinión e innovación

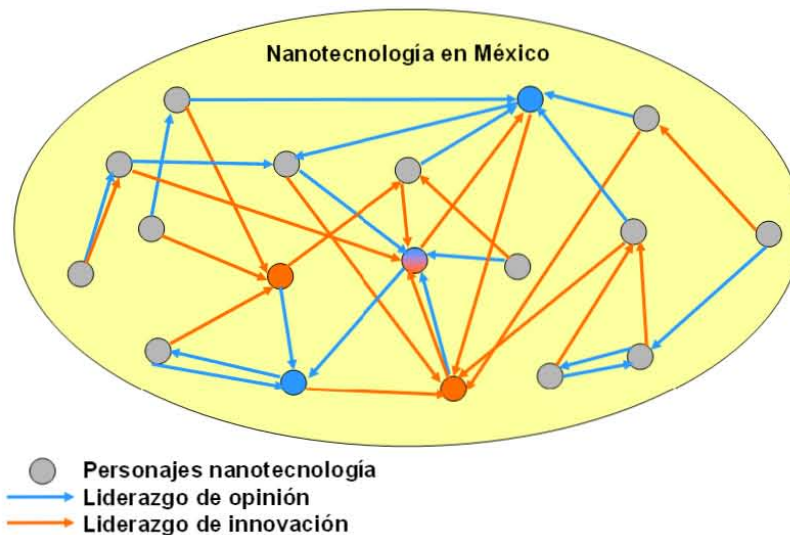


Figura V.7 Representación gráfica de la evaluación del liderazgo de opinión e innovación.

Respecto a las nuevas empresas, o las pequeñas ya existentes, la estrategia se debe enfocar a la difusión de beneficios y en especial, a la importancia de atacar mercados emergentes. El costo de desarrollar nanotecnología es alto, sin embargo, se debe impulsar la creación de empresas que, si bien no desarrollen nanotecnología, estén relacionadas con ésta a través de la prestación de servicios, por ejemplo: embalaje, transporte, comercialización, maquinaria y equipo no especializado, etc.

En cuanto al sector gubernamental, la estrategia debe buscar la concientización del Poder Legislativo, ya que es finalmente en el Congreso de la Unión donde se decide acerca de las áreas de inversión en tecnología. La estrategia buscará primero a la Comisión de Ciencia y Tecnología de la Cámara de Diputados, que es la encargada de poner a discusión las leyes y presupuesto relacionado con el desarrollo tecnológico. El Foro Consultivo Científico y Tecnológico tendrá un papel trascendental en esta tarea, ya que es el órgano autónomo permanente de consulta del Poder Ejecutivo Federal, del Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico y de la Junta de Gobierno del Conacyt; y a través de convenios, es asesor del Congreso de la Unión.

Será en las cámaras donde se discuta la importancia de la nanotecnología y la conveniencia de destinar recursos a esta área, promoviendo una iniciativa de ley que buscará legalizar y obligar el apoyo federal para la puesta en marcha del Plan Nacional de Nanotecnología y sus acciones; entre las cuales estará principalmente la creación del Instituto Mexicano de Nanotecnología.

Además de lograr un consenso positivo respecto a este tema en el Poder Legislativo, es finalmente el Poder Ejecutivo, en la persona del Presidente de la República, la institución más adecuada para implementar y compartir una visión sobre alternativas sustentables para la solución de los problemas de nuestro país. Este sexenio está a punto de terminar, y los candidatos a ocupar la presidencia deben pronunciarse en torno a temas tan trascendentes como lo son la ciencia y tecnología, que de manejarse con estrategias y políticas inteligentes y de largo plazo, permitirán solventar algunos de los principales problemas que afectan a México. La nanotecnología y sus alcances deben ser conocidos por los candidatos, y deben formar parte de su plataforma política.

V.4.6 Apoyo gubernamental

Mientras la investigación nanotecnológica está en una etapa temprana, tiene ya algunos resultados prometedores. Es claro que puede tener un impacto sustancial en la industria y en nuestra forma de vida por medio del mejoramiento de la salud, el ambiente y la economía. Al ser un área con implicaciones en aspectos que son de interés para el sector gubernamental, es indiscutible su participación tanto en la elaboración como implementación del Plan Nacional de Nanotecnología.

Las inversiones deben hacer posibles nuevas tecnologías que permitan a la industria producir productos competitivos en costo. Ya que muchos de los descubrimientos en nanoestructuras y nanoprosos no son aún totalmente replicables o entendidos, tomará aún algunos años desarrollar las tecnologías correspondientes. La industria necesita saber cuáles son los principios de operación y cómo fabricar e integrar los materiales y dispositivos nanoestructurados. Además, la investigación y desarrollo de nanotecnología es demasiado amplia, compleja, cara, tardada y riesgosa para las empresas que la abordan. Así, la industria, sobretodo la nacional, no es capaz de financiarse, o está sub-financiando áreas críticas de investigación y desarrollo de largo plazo. Como resultado, no se está construyendo la infraestructura balanceada necesaria para desarrollar potencial nanotecnológico.

Actualmente las inversiones académicas y federales en ciencia, y en muy menor grado en ingeniería y tecnología a nanoescala, están en competencia con otros temas de investigación en varias disciplinas. Esta dinámica es una razón por la que los esfuerzos de investigación en nanotecnología tienden a ser fragmentados o traslapados entre las disciplinas y fuentes de financiamiento. Debe darse un esfuerzo nacional coordinado que enfoque los recursos en actividades de cooperación estimulantes, apoyando la expansión de instalaciones de laboratorios de universidades y del gobierno, ayudando a construir la fuerza de trabajo con las habilidades necesarias para apoyar las industrias futuras basadas en nanotecnología y las futuras instituciones académicas, alentando redes y organizaciones interdisciplinarias que aseguren la diseminación de información y fomenten pequeños negocios para explotar las oportunidades en nanotecnología. Dada la complejidad y alcance de este esfuerzo es necesario que surja como una

iniciativa del gobierno federal y que sea éste, a través de las instancias correspondientes, quien coordine todas las actividades derivadas.

La investigación y desarrollo de nanociencia e ingeniería necesitará un compromiso de inversión de largo plazo por sus características interdisciplinarias y las limitaciones de las herramientas existentes de experimentación y modelación. El periodo de tiempo desde los descubrimientos fundamentales hasta el mercadeo es típicamente de 10 a 15 años. Históricamente, la industria llega a ser el principal jugador en los últimos 3 o 5 años, cuando sus inversiones aseguran un retorno económico más exitoso en países como el nuestro. La industria es frecuentemente renuente a invertir en investigaciones de riesgo que toman muchos años para desarrollarse en un producto, de ahí la importancia y trascendencia de la inversión gubernamental en temas de ciencia y desarrollo.

Los recursos y liderazgo gubernamental son necesarios para ayudar a implementar políticas, infraestructura y apoyo para la investigación en los próximos años. Dado que el principal mercado industrial aún no está establecido para los productos de la nanotecnología, es recomendado el apoyo gubernamental a actividades de transferencia de tecnología a la industria privada, para acelerar los beneficios a largo plazo. La infraestructura y tecnologías deben estar funcionando para que la industria tome ventaja de las innovaciones y descubrimientos de la nanotecnología. El ritmo incremental de la comercialización tecnológica requiere una compactación de las escalas de tiempo pasadas, desarrollo paralelo de investigación y productos comerciales, y una sinergia entre industrias, universidades y participantes del gobierno.

El siguiente listado incluye las principales áreas que deben verse beneficiadas por medio del financiamiento gubernamental.

1. *Investigación fundamental.* La inversión proveerá de apoyo sostenido para investigadores individuales y pequeños grupos que dirigen la investigación básica. La mayor inversión será al principio para financiar este tipo de investigación, tanto para el desarrollo de laboratorios universitarios y de la industria, como para instalaciones gubernamentales.
2. *Grandes retos.* Financiamiento a la investigación interdisciplinaria y equipos de trabajo que tengan como meta conseguir los principales objetivos de largo plazo siguientes:
 - *Medio Ambiente.* Remoción de contaminantes del agua y aire por medio de nanocatalizadores. Purificación de agua y desalinización del agua de mar por medio de procesos a escala nanométrica.
 - *Energía.* Mejoramiento de la eficiencia en la conversión y almacenamiento de energía. Desarrollo de catalizadores y materiales que permitan nuevos procesos y mejorar la eficiencia de los ahora existentes (por ejemplo, celdas solares, celdas de combustible, almacenamiento de hidrógeno, etc.)

- *Transportación económica y segura.* Desarrollo y adopción de nuevos materiales y procesos con conceptos de ahorro de energía y mejoramiento del medio ambiente.
 - *Salud.* Efectivos y económicos sistemas de diagnóstico remoto e “in situ”. Entrega de medicamentos a células cancerígenas “objetivo” y detección temprana de cáncer. Biosensores que detectarán de manera temprana enfermedades. Reducción en la tasa de rechazos de órganos artificiales; y uso de pequeños dispositivos médicos que minimizarán los daños colaterales en tejidos humanos.
 - *Nanomateriales.* Más fuertes, ligeros, auto reparables y seguros. Enfoque en carbono estructural y materiales cerámicos y poliméricos para su uso en la industria, transporte y construcción.
3. *Centros y redes de excelencia.* Fomento a redes de investigación. Establecimiento de centros de investigación nanotecnológica que jugarán un importante papel para alcanzar otras prioridades de la iniciativa (investigación básica, grandes retos y educación), y para la promoción de organizaciones para la próxima década. Estos centros deben estar totalmente relacionados unos con otros, compartir instalaciones e intercambiar conocimientos.
 4. *Infraestructura para investigación.* Creación y promoción de laboratorios universidad-industria-estado; con colaboraciones internacionales para el conocimiento y transferencia de tecnología entre universidades e industria. Desarrollo de una infraestructura flexible que permita y acelere los nuevos descubrimientos e innovaciones.
 5. *Educación y capacitación para la fuerza de trabajo.* Financiamiento de becas para estudiantes y desarrollo de currícula en nanotecnología. Cambio de paradigma general de enseñanza, que incluya nuevas herramientas y métodos.
 6. *Implicaciones sociales de la nanotecnología.* Destinar recursos al estudio de implicaciones sociales, éticas, legales y económicas de la nanotecnología.

El sector oficial debe procurar el interés de la industria hacia nuevas tecnologías que mejoren las condiciones de vida de la población. Además de dar difusión a los alcances de estas tecnologías, debe fomentar la inversión de la industria en estas áreas. Una manera de hacerlo es por medio de incentivos fiscales que motiven a los empresarios a invertir en investigación y desarrollo. Aún más, pueden incrementarse estos estímulos para aquellas empresas cuya ubicación geográfica beneficie la creación de “clusters” nanotecnológicos.

Una forma más de propiciar el desarrollo de nanotecnología en nuestro país es facilitar la importación de tecnología necesaria. Para esto pueden incluirse cláusulas en los tratados comerciales internacionales que favorezcan a nuestro país en este aspecto, por medio de la reducción de aranceles y otros impuestos, de manera tal que se haga más accesible la adquisición de equipo especializado.

V.4.7 Seguimiento

Para asegurar la permanencia y correcto funcionamiento del Plan Nacional de Nanotecnología será necesario establecer métodos de seguimiento, medición, análisis y mejora que permitan verificar el avance y resultados para alcanzar los objetivos establecidos. El Plan Nacional de Nanotecnología será coordinado por el CONACYT, quien proveerá de políticas y guías de presupuesto para este programa a través de un Comité de Nanociencia y Nanotecnología (CNN). Este Comité coordinará los programas de investigación y desarrollo a nanoescala, incluyendo el Plan Nacional de Nanotecnología. El CNN coordinará la planeación, presupuesto, implementación y revisión del Plan Nacional de Nanotecnología. El CNN estará integrado por representantes de las organizaciones gubernamentales con planes para participar en el Plan Nacional de Nanotecnología y por representantes del gobierno federal.

Bajo el Plan Nacional de Nanotecnología, cada organismo invertirá en los proyectos de investigación y desarrollo que aporten a sus propios objetivos, así como a los del Plan. Cada organismo participante tendrá el control de a qué destinar sus recursos, y utilizará sus propios métodos para solicitar y evaluar propuestas y valorará sus propias actividades de investigación, de acuerdo con sus políticas y procedimientos.

Además, habrá varios comités encargados de llevar a cabo tareas específicas, por lo que será necesario establecer un plan de comunicaciones con apropiados canales y herramientas de comunicación.

Comité de Dirección (CD)

El Comité de Dirección debe ser un grupo de representantes de todas las disciplinas y organizaciones, incluyendo al gobierno, universidades y el sector privado; con un balance que procure el equilibrio idóneo entre los representantes de cada sector. Este comité coordinará las actividades, buscando la sinergia entre las organizaciones. Sus funciones serán:

- Identificar las direcciones de investigación más prometedoras y darles seguimiento.
- Dotar de financiamiento a campos de investigación que son críticos para el avance de la nanociencia y la nanotecnología.
- Crear, o fomentar la creación, de centros y redes de trabajo de excelencia,
- Fomentar el desarrollo de una amplia fuerza de trabajo capacitada.
- Originar estudios de la complejidad y diversidad de las diferentes implicaciones de la nanotecnología para la sociedad.
- Asegurar que los académicos, los laboratorios nacionales, y el sector privado (incluyendo instituciones de todas las áreas geográficas, instituciones de minoría histórica y pequeños colegios y universidades)

- tengan igualdad de oportunidades para competir por el acceso a la disponibilidad de recursos de investigación y de infraestructura.
- Supervisar el libre flujo de información y colaboración entre las organizaciones.
 - Supervisar la labor de los demás comités (coordinación, vinculación y técnico).

Comité de Coordinación (CC)

Este comité será establecido para servir de secretariado al CNN, aportando día a día el soporte administrativo. Este subcomité respaldará al CNN en la preparación de planes, presupuestos y documentos de valoración. El CC será el punto de contacto entre las organizaciones gubernamentales, la academia, la industria y sociedades profesionales para intercambiar información. En suma, el CC desarrollará y hará disponible el material impreso y de otros tipos, así como mantendrá el sitio web de la iniciativa.

Comité de Vinculación (CV)

El Comité de Vinculación organizará eventos que promuevan el intercambio de información y la difusión de las actividades nacionales en torno a la nanotecnología. Instaurará espacios de expresión como foros, talleres, encuentros, conferencias, etc. que sirvan de escaparate para dar a conocer las investigaciones y avances en México acerca de este tema. Sobretudo, procurará el acercamiento de nuestros talentos nanotecnológicos con personalidades extranjeras; así como actividades de colaboración entre los centros de educación en México e instituciones foráneas. El CV deberá mantener actualizadas a todas las organizaciones acerca de eventos referentes a nanotecnología que se den dentro y fuera de nuestro país. Este comité será el encargado de gestionar las cuestiones legales que se generen a partir del establecimiento de convenios de colaboración entre organizaciones nacionales y/o extranjeras.

Comité Técnico (CT)

Este comité será el encargado de realizar un continuo “benchmarking” del estado del arte de la nanotecnología en el mundo. Mantendrá actualizados documentos de referencia acerca de las diferentes áreas de la nanotecnología: medición, manipulación, caracterización, técnicas de ensamblaje, nuevos materiales, nuevos procesos, etc. El objetivo del ST será actualizar o refrendar las actividades de la planta de investigadores en México, destinando recursos y esfuerzos en áreas de innovación prometedoras.

V.4.8 Difusión

De acuerdo con el Estudio AMIPCI de Internet en México 2005⁸, realizado por la Asociación Mexicana de Internet, La tasa de penetración nacional de Internet es de 18.2%, con lo que existen 17.1 millones de internautas mayores a 6 años a nivel nacional. Además, la Internet tiene el más alto índice de afinidad en los segmentos de 13 a 19 y de 25 a 34 años, con respecto a otros medios y la base instalada de computadoras en México viene creciendo a una tasa neta de 9.9%. Así, un portal dedicado al Plan Nacional de Nanotecnología permitiría hacer llegar a muchos mexicanos el conocimiento acerca de la nanotecnología. En los anexos se detalla nuestra propuesta de diseño de dicho portal. Cabe señalar que se trata tan solo de una propuesta básica del contenido en general.

De manera paralela, se puede iniciar una campaña a través de cobertura de medios, de acontecimientos especiales, de talleres educativos y de foros regionales, cuyas reseñas apareciesen también en la página, y a través de TV UNAM.

⁸ Hábitos de los Usuarios de Internet en México 2005, en la web:
http://www.amipci.org.mx/docs/Presentacion_Estudio_AMIPCI_2005_Presentada.pdf

Capítulo VI

Conclusiones

La esencia de la nanotecnología es la habilidad de trabajar a nivel molecular, átomo por átomo, para crear estructuras con una nueva y controlada organización molecular. El comportamiento de estructuras entre 1 a 100 nm contrasta drásticamente con el de estructuras de mayor tamaño, aún cuando se hable del mismo material. La nanotecnología está relacionada con materiales y sistemas con propiedades físicas, químicas y biológicas mejoradas y el objetivo es aprovechar estas propiedades mediante el control a nivel atómico y molecular para lograr dispositivos eficientes en costo y desempeño.

En 1959 Richard Feynman dictó su famoso discurso “There is a Plenty of Room at the Bottom” y con él estimuló en su audiencia la visión de nuevos descubrimientos si se pudieran fabricar materiales y dispositivos en escala atómica y molecular. Feynman anotó también que para que esto fuera posible sería necesaria una nueva clase de instrumentación miniaturizada para manipular y medir las propiedades de estas pequeñas estructuras.

Pero no fue sino hasta 1980 que fueron desarrollados los instrumentos con las capacidades que Feynman intuyó. Estos equipos incluyen Microscopios de Fuerza Atómica y Microscopios de efecto Túnel, que proveen los “ojos” y “manos” necesarios para la medición y manipulación. En paralelo, la expansión de las capacidades computacionales hizo posibles sofisticadas simulaciones del comportamiento de materiales a nanoescala. Estas nuevas herramientas y técnicas han desencadenado el entusiasmo a través de la comunidad científica. Las teorías y modelos tradicionales para caracterización de materiales incluyen supuestos basados en un “tamaño crítico de escala”, que es generalmente mayor a 100 nm. Cuando los materiales están por debajo de esta escala crítica, su comportamiento no puede ser explicado con teoría y métodos tradicionales. Es por esta razón que científicos de muchas disciplinas están fabricando y analizando nanoestructuras en pos de fenómenos novedosos. Se comienza a entender algunos de los principios para crear “a diseño” estructuras y cómo fabricar económicamente dispositivos y sistemas. Cada avance significativo en el entendimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de estas nanoestructuras, y el desarrollo de métodos para controlarlas, incrementan la habilidad de los investigadores para diseñar, fabricar y ensamblar nanodispositivos que operen en un sistema de mayor alcance.

Los beneficios potenciales de la nanotecnología penetrarán en muchos campos, tales como: materiales, nanoelectrónica, tecnologías computacionales, medicina y salud, aeronáutica y exploración espacial, energía, medio ambiente, biotecnología y agricultura, seguridad, etc.

A nivel mundial, la nanotecnología ha provocado una fuerte movilización de recursos materiales, financieros y humanos. Los países desarrollados y aquellos en vías de serlo han enfocado sus esfuerzos en desarrollar ciencia y tecnología a la nanoescala, aún más; la nanotecnología se ha convertido en un punto estratégico en numerosos planes y programas gubernamentales.

Las diez aplicaciones de la nanotecnología a nivel mundial

1. Almacenamiento, producción y conversión de energía
2. Incremento de la productividad en la agricultura.
3. Tratamiento de agua.
4. Diagnóstico y cura de enfermedades.
5. Sistemas de administración de medicamentos.
6. Almacenamiento y procesamiento de alimentos.
7. Solución a la contaminación del aire.
8. Construcción.
9. Monitoreo de la salud.
10. Detección y control de epidemias.

Tabla VI.1 Aplicaciones de la nanotecnología a nivel mundial. Fuente : F. Salamanca-Buentello et al., "Nanotechnology and the Developing World," PLoSMedicine2 (2003): e97.

Para realizar este trabajo de tesis, partimos de la premisa de que la tecnología debe ser un importante factor de impulso para el crecimiento económico de México. La nanotecnología impactará otras tecnologías y su investigación y desarrollo es necesario para mejorar nuestra posición en la economía mundial. Un Plan Nacional de Nanotecnología facilitará el desarrollo de tecnologías críticas con un amplio potencial comercial. En México debemos aprovechar el actual ímpetu que en el mundo se está dando respecto a la nanotecnología para integrarnos al desarrollo de un área que puede representar una oportunidad para que México mejore su capacidad innovadora.

Un Plan Nacional de Nanotecnología es un trabajo complejo que requiere de la participación de muchas personas que se relacionan con el tema, investigadores, empresarios, el poder legislativo, el poder ejecutivo, etc. Lo hasta aquí expuesto ha sido una propuesta de lo que consideramos debe contener el Plan Nacional de Nanotecnología, y esperamos que sirva como base para un trabajo futuro acerca del tema.

Como conclusiones queremos expresar ciertas ideas clave en el desarrollo de esta tesis, así como algunas recomendaciones que es importante tomar en cuenta para hacer realidad el desarrollo de nanotecnología en México.

VI.1 Claves para el Plan Nacional de Nanotecnología

Proceso de elaboración

El Plan Nacional de Nanotecnología debe ser elaborado a través de un ejercicio nacional que involucre a todos los actores importantes para su implementación y desarrollo; es decir, investigadores, técnicos, empresarios, el sector gubernamental, el sector privado, etc. Este Plan debe ser nacional en sus alcances y coordinación; por lo que es necesaria una fuerte presencia del gobierno federal en su elaboración para asegurar la permanencia del enfoque nacional. Tomando en cuenta que la mayoría de las áreas de nanociencia requieren equipos multidisciplinarios, el Plan debe enfocarse desde esta perspectiva. En la elaboración se debe contar, además, con un plan adecuado de comunicación y herramientas que maximicen la interacción entre participantes.

Flexibilidad

El Plan debe ser flexible y adaptable a los cambios y retos en esta área emergente. Serán necesarias revisiones formales y monitoreos continuos para asegurar que el Plan está llevándose a cabo en el contexto de los desarrollos internacionales. Las áreas prioritarias de desarrollo de nanotecnología en México deben ser establecidas después de determinar cuáles son las principales necesidades de nuestro país e identificando en qué áreas puede competir México; pero el establecerlas no será limitante para incluir, en las mejoras, nuevos nichos de desarrollo.

Planeación

Es un paso inicial para establecer las metas y alcance del Plan Nacional de Nanotecnología. Debe incluir un análisis del “estado del arte” de la nanotecnología, así como un inventario de los recursos humanos e infraestructura de México. También debe considerarse un análisis de las principales necesidades y problemas en el país.

Financiamiento

El gobierno necesita hacer un compromiso financiero importante desde la elaboración y comienzo del Plan. Si el apoyo no se da en las primeras etapas de desarrollo, la probabilidad de despertar el interés después será menor y no se podrá recuperar el tiempo perdido. El apoyo monetario debe enfocarse en la preparación de recursos humanos y la creación de nueva y adecuada infraestructura, así como en el financiamiento de líneas innovadoras de investigación.

Dirección

El Plan Nacional de Nanotecnología debe tener un método de seguimiento. La implementación del Plan debe ser dirigida por un grupo pequeño y proactivo, donde estén representados los intereses de cada sector involucrado, incluyendo al gobierno, universidades y empresas privadas, cuidando que haya un balance

entre los miembros. Será necesario analizar la conveniencia de integrar asesores extranjeros.

Infraestructura

El Plan deberá fomentar la creación de nueva infraestructura, estableciendo una red de centros especializados a través del país, ligados entre sí para intercambiar información y facilitar los convenios de colaboración.

Instituto de nanotecnología

Un Instituto Mexicano de Nanotecnología serviría como el punto físico medular para el Plan Nacional de Nanotecnología y las redes de trabajo. En él podrían alojarse, además de investigadores e infraestructura, los comités de administración y de dirección de dicha iniciativa.

Educación y capacitación de personal altamente calificado

El Plan debe establecer las líneas de acción a seguir y los recursos que se destinarán a formar personal especializado técnica y científicamente en el área de la nanotecnología.

Conciencia pública

Es necesaria una estrategia de comunicación que se oriente a auditorios clave, incluyendo al gobierno, universidades, industria y público en general. Esta promoción permanente debe enfatizar los beneficios de la nanotecnología, y puede ser realizada a través de eventos especiales, talleres educativos y congresos.

Planes de corto y largo plazo

El Plan Nacional de Nanotecnología deberá establecer planes y objetivos de corto, mediano y largo plazo. Muchas de las estrategias que deberán ser implementadas se originarán en este análisis.

VI. 2 Factores para el éxito

1. Elaboración de un Plan Nacional de Nanotecnología que guíe el desarrollo de esta área en México.
2. Sistema de financiamiento incremental por parte de todos los participantes (gobierno, universidades e industria)
3. Visión nacional de largo plazo, con estrategias y prioridades.
4. Establecimiento y eficiente gestión de un Instituto de Nanotecnología y una red de centros coordinada y vinculada internacionalmente.
5. Líderes de reconocida trayectoria que promuevan la estrategia de nanotecnología.

6. Personal altamente calificado y establecimiento de programas educativos para formar la fuerza de trabajo necesaria.
7. Valoración de las necesidades de la industria en este sector.
8. Rápida implementación del Plan Nacional de Nanotecnología.
9. Estrategia de difusión para recabar fondos desde la industria y las dependencias públicas.
10. Se debe tomar en cuenta el benchmarking nivel mundial, seleccionar algunas de sus mejores prácticas y hacerlas propias, adecuándolas al contexto nacional.

VI.3 Recomendaciones

1. El Plan Nacional de Nanotecnología debe lanzarse pronto, antes de que el ímpetu se pierda. Actualmente hay una ventana de oportunidad abierta para el país; el tiempo para lanzar esta iniciativa es hoy.
2. El Instituto Mexicano de Nanotecnología funcionará como punto focal de la red y de la infraestructura nacional; asumiendo el liderazgo para el Plan; facilitando la colaboración interdisciplinaria y procurando acceso abierto a las instalaciones.
3. Una inversión financiera substancial es esencial para el éxito del Plan. Dada la naturaleza de la nanotecnología, la clave del éxito es la colaboración ínter organizacional y multidisciplinaria.
4. Es esencial comenzar el establecimiento de programas educativos en nanociencias para formar a los expertos del futuro.
5. Se deben establecer nexos internacionales con naciones con experiencia en el desarrollo de iniciativas como el Plan Nacional de Nanotecnología.
6. En México no estamos acostumbrados a reconocer el talento y esto ayudaría enormemente a crear dicha cultura y motivar el talento mexicano. Por ello, recomendamos crear un premio nacional para aquellos investigadores que han hecho descubrimientos importantes o que han aterrizado algunas aplicaciones trascendentes en beneficio de México.
7. Se le tiene que dar toda la importancia a la introducción de nueva Industria en México, debemos concentrar a los líderes de opinión para desarrollar ligas de científicos afortunadas.
8. Una de las estrategias principales para México será la de invitar científicos e investigadores importantes con gran trayectoria para que nos muestren su trabajo, impartan conferencias, etc. De esta manera siempre contaremos con talentos a la vanguardia.

VI.4 Primeros pasos

- Lanzar un sitio de internet de nanotecnología que incluya vínculos e información relevante sobre el desarrollo del Plan.
- Establecer un comité directivo para recolectar fondos para el comienzo del Plan.
- Comenzar a definir una visión, misión, estructura y formas de gobierno para el Plan.
- Dar difusión a nivel gubernamental de los alcances de la nanotecnología, y comenzar a crear conciencia nivel legislativo.

VI.5 Acciones para el desarrollo del Plan Nacional de Nanotecnología

A continuación presentamos una síntesis de los planes y objetivos que se recomienda llevar a cabo en el proceso de implantación, desarrollo y seguimiento del Plan Nacional de Nanotecnología. Este listado servirá de guía para enfocar cada una de las metas a alcanzar, y los caminos que habrán de tomarse para llegar a ellas.

Corto plazo (2 años)	Mediano plazo (5 años)	Largo plazo (10 años)
1. Planeación		
La planeación deberá existir en cada una de las etapas del Plan, es de suma importancia diseñar y darle seguimiento a cada una de las etapas del mismo, para asegurar el éxito.		
2. Infraestructura		
Identificar los actores indicados que puede proporcionar el financiamiento apropiado para construir el Instituto Mexicano de Nanotecnología. Deberá analizarse cada una de las posibilidades de implantación física del Instituto y de cada centro miembro de la red nacional.	Construcción física del Instituto y otros centros. Adecuación de instalaciones. Mayor captación de recursos y adquisición de equipo apropiado.	El Instituto Mexicano de Nanotecnología asume el liderazgo de la investigación nanotecnológica en México. Mantenimiento y evaluación constante del Instituto. Incorporación de nuevos equipos. Obtención de recursos incrementales y canalización de los mismos.

Corto plazo (2 años)	Mediano plazo (5 años)	Largo plazo (10 años)
3. Facilitadores del procesos		
Investigación plena y consciente de los talentos mexicanos en materia de Nanotecnología e invitación de los mismos a participar en el proyecto del Plan Nacional de Nanotecnología. Establecer los canales apropiados de comunicación, madurar las relaciones y "vender la idea	Elaboración de una base de datos internacional conformada por todos los investigadores nanotecnológicos, públicos y privados, y su especialidad, así como el material y equipo del que disponen, para diseñar las posibles contribuciones a la red, negociaciones, intercambio de información, etc.	Desarrollo de proyectos específicos originados a partir del reconocimiento de los principales actores y facilitadores. Continua búsqueda de nuevos facilitadores, en el ramo privado y público, que contribuyan al desarrollo de áreas bien delimitadas.
Reconocimiento de núcleos internacionales y exploración de nuevos nichos y oportunidades mediante el contacto con facilitadores extranjeros.	Red Nacional funcional gracias al desarrollo de facilitadores mexicanos. Internacionalmente México colabora activamente y comienza a sobresalir gracias a que ha detectado actores relevantes que han contribuido a que esto ocurra.	México se perfila como un líder internacional en investigación nanotecnológica, actúa como facilitador de enlaces entre expertos internacionales.
4. Programas		
Se incorporan en las universidades importantes de México planes de estudio en Ingeniería Nanotecnológica y posgrados con especializaciones relativas al tema.	Revisión de los planes y programas de estudio, actualización constante de los mismos y reconocimiento internacional por su diseño y la calidad de sus egresados.	La educación relacionada con nanotecnología está perfectamente diseñada, con un alto nivel de profesorado y áreas muy específicas abarcadas.
5. Entrenamiento interdisciplinario		
Comienzan la difusión de talleres y seminarios técnicos anuales.	Se tienen entrenamientos altamente avanzados tanto operacionales como teóricos, para los investigadores y recién egresados de las Universidades.	Alta captación de recursos para la educación, entrenamiento especializado muy competitivo.
6. Investigación		
Investigación en áreas de oportunidad. Coordinación de esfuerzos de investigación y desarrollo.	Las principales potencias desean establecer acuerdos de colaboración con México. Fortalecimiento de relaciones.	Investigación de excelencia en áreas puntuales. Preparación constante en áreas de importancia.
La investigación básica define las primeras aplicaciones tangibles.	Incremento de aplicaciones reales e incorporación piloto de nuevas tecnologías.	Completo conocimiento de los fundamentos y comportamientos de la materia a nivel nanométrico.

Corto plazo (2 años)	Mediano plazo (5 años)	Largo plazo (10 años)
7. Difusión		
Establecimiento de una estrategia nacional de difusión para motivar el acercamiento a la Nanotecnología.	La estrategia nacional ha funcionado, se tiene gran alcance nacional e internacional. Los medios de difusión juegan un papel fundamental.	Reconocimiento internacional y creación de nuevos enlaces.
8. Comercialización		
Establecimiento de posibles canales de comercialización de productos y tecnologías.	Promoción de nuevos nichos de mercado y nuevas empresas. Las estrategias de comercialización han funcionado exitosamente.	Posicionamiento internacional y reconocimiento a México como productor de tecnología.
9. Recursos Humanos		
Establecimiento de planes y programas para desarrollar personal habilitado técnica y teóricamente.	Fuerza de trabajo altamente calificada.	Entrenamiento especializado a la fuerza de trabajo, formación de nuevos talentos. Actualización vanguardista de las nuevas tecnologías.
10. Regulación y ética		
Investigación sobre los riesgos potenciales de la nanotecnología e implicaciones sociales y ambientales.	Investigación avanzada y puesta en marcha de posibles soluciones.	Control completo sobre los riesgos potenciales de la nanotecnología.

VI.6 Rol de la Facultad de Ingeniería en el desarrollo de la nanotecnología en México

Consideramos que la principal aportación de la Facultad de Ingeniería debe ser en el ámbito académico, formando recursos humanos mediante programas de licenciatura y posgrado, como diplomados, maestrías y doctorados relacionados con tópicos afines, como mecánica cuántica, fundamentos de física y química para nanociencia y nanotecnología, nanoelectrónica, nanomateriales, nanotecnología para energías alternas, nanocatalizadores, etc.

La Facultad también puede participar de manera activa en proyectos de investigación y desarrollo de nanotecnologías. Como ya se mencionó en capítulos anteriores, en la UNAM existe un programa de nanocatalizadores, el cual cuenta con gran reconocimiento dentro y fuera de la Universidad. Participar en este tipo de desarrollos permitirá a la Facultad estar en contacto directo con el desarrollo de nuevas tecnologías, e incluirlas en sus programas de servicio social, prácticas profesionales, seminarios de tesis, etc.

Es importante sumar a las doce carreras que actualmente ofrece la Facultad, un programa de estudios que abarque esta área emergente. Una Ingeniería en Nanotecnología podría servir para capacitar a los estudiantes para aprovechar los fenómenos físicos, químicos y biológicos, y las herramientas y procesos pertinentes en sistemas y dispositivos en la escala de 1 a 100 nm.

La UNAM es la mejor universidad de América Latina y goza de reconocimiento a nivel mundial¹. Este programa de Ingeniería en Nanotecnología establecerá a la Universidad como el centro mexicano para educación nanotecnológica y le dará una posición competitiva. Todo esto contribuirá a mantener a la universidad como líder en innovación e implementación de programas de estudio altamente competitivos.

Las razones por las que se debe implementar un programa de formación de recursos humanos en la Facultad de Ingeniería son:

1. Es necesario contar con personal para transformar la ciencia en productos.
2. Será indispensable contar con personas para capacitar e instruir a los compradores potenciales.
3. Necesitamos contar con profesionistas que evalúen la factibilidad de productos basados en nanotecnología.
4. Los emprendedores que funden empresas relacionadas con nanotecnología son necesarios para darle impulso a esta área en nuestro país.

¹ “The Times: UNAM, entre las 100 mejores universidades” La Jornada. 3 de noviembre de 2005.

Anexo A

Glosario

A

Átomo:

Se define como la unidad más pequeña posible de un elemento químico. En la filosofía de la antigua Grecia, la palabra "átomo" se empleaba para referirse a la parte de materia más pequeña que podía concebirse.

Auto ensamblaje:

Puede definirse como el proceso por el que una especie supramolecular se forma espontáneamente a partir de sus componentes.

B

Bionanotecnología:

La bionanotecnología es una rama de la nanotecnología basada en el uso de estructuras biológicas tales como las proteínas, ADN, etc.

Buckyballs

Su nombre completo es buckminsterfullereno (comúnmente conocido como fulerenos) en honor al arquitecto Buckminster Fuller, que inventó el domo geodésico. Descubierta en 1985 por Robert Curl, Harold Kroto y Ricard Smalley. Los buckyballs están formados por 60 átomos de carbono, estructurados en un espacio cerrado y perfectamente simétrico, tienen propiedades extraordinarias, especialmente como superconductores. Los buckyballs superconductores muestran la temperatura crítica más alta que se haya encontrado en compuestos orgánicos y se asocian en nanotecnología a los "nanotubos".

Bottom-up

Técnica basada en la integración y ensamble de átomos y moléculas para crear estructuras más complejas.

C

Catalizador

Se conoce como una sustancia capaz de acelerar una reacción química al hacer descender la barrera energética.

Células artificiales:

Parte de un concepto de bionanotecnología con incursiones en la nanomedicina, según el cual se podrán hacer "células de diseño" con un "comportamiento muy eficiente" (más eficiente que las células ordinarias) por ejemplo en la entrega de oxígeno o destruyendo virus.

Celdas de Combustible:

Las células de combustible son un dispositivo electroquímico que produce energía eléctrica mediante la combinación de hidrógeno y oxígeno convirtiéndola en agua. De ahí su gran atractivo, pues las celdas de combustible producen una energía limpia y silenciosa que no daña el medio ambiente.

E

Ensamblador

Dispositivo químico que, dados ciertos materiales atómicos o moleculares, que sirven de base, puede producir una estructura molecular específica.

F

Fulerenos:

Ver Buckyballs

M

Manufactura molecular

Método para crear productos mediante maquinaria molecular, permitiendo el control molécula por molécula.

Materiales nanoestructurados:

Materiales derivados de la nanotecnología, cuyas propiedades pueden ser controladas y cambiadas a voluntad. Los materiales nanoestructurados tienen la capacidad de cambiar su color, forma, o propiedades electrónicas en respuesta a cambios o alteraciones del medio (luz, sonido, temperatura, voltaje).

Mecánica Cuántica:

Es la parte de la física basada en la teoría cuántica, que explica los fenómenos observables a niveles atómicos, fenómenos que difieren de aquellos que observamos a escalas mayores.

Microscopio de Efecto Túnel:

(STM por sus siglas en inglés: Scanning Tunneling Microscope). Es un microscopio que dispone una punta en forma de aguja por encima de una superficie conductora de electricidad, casi tocándola. La punta y la superficie están conectadas eléctricamente de tal modo que una corriente fluirá si se relacionan, como ocurre cuando se cierra un interruptor. Fluye entonces una corriente detectable cuando tan sólo dos átomos se ponen en tenue contacto, uno en la superficie y otro en

la punta de la aguja. Si con delicadeza se maniobra la aguja sobre la superficie, manteniendo constante la diminuta corriente que fluye, el microscopio de barrido túnel puede mapear los contornos de la superficie con gran precisión. Esto es posible por el llamado efecto túnel que ocurre cuando, al aplicar un ligero voltaje, las reglas de la mecánica cuántica hacen que los electrones salten y fluyan “como en un túnel” atravesando el espacio entre la punta y la muestra. Este microscopio fue desarrollado en Zurich, Suiza, en los laboratorios de IBM, y puede usarse para recoger y localizar los átomos.

Microscopio de Fuerza Atómica:

Este tipo de microscopios permiten interactuar con la materia a una escala mínima. La punta de un AFM, está situada al final de un brazo de palanca suspendido, sumamente sensible, y toca la superficie de la muestra que ha de examinarse. La fuerza de contacto es muy pequeña. El AFM registra y mide los minúsculos movimientos ascendentes o descendentes requeridos para mantener una fuerza constante sobre la muestra. La punta toca la superficie de una manera delicada, de tal suerte que no se destruya la muestra. El AFM fue un seguimiento del Microscopio de Barrido en Túnel y difiere de éste en que se hace contacto con el material en vez de basarse en una corriente eléctrica que fluya entre instrumento y muestra, lo que hace posible “ver” materiales a nivel nanométrico.

Molécula:

Conjunto de átomos de uno o más elementos químicos.

N

Nano:

Del griego *nanos* que significa enano. Este prefijo está destinado a la escala del nanómetro, la millonésima parte de un milímetro.

Nanobots

Ver nanomáquinas

Nanocables:

Un nanocable es un cable de dimensión nanométrica. Los nanocables son usados como semiconductores, diodos emisores de luz (LEDs), dependiendo de su composición química. Los nanocables podemos definirlos como estructuras moleculares con propiedades eléctricas u ópticas. Son uno de los componentes clave para la creación de chips electrónicos moleculares.

Nanociencia:

La Nanociencia es un área emergente de la ciencia que se ocupa del estudio de los materiales 0.1 - 100 nanómetros

Nanocristal:

Partícula nanoscópica que contiene de unos pocos cientos a decenas de millares de átomos, los cuales están dispuestos ordenadamente, siguiendo una estructura cristalina. Se cree que los nanocristales pueden tener un enorme potencial en electrónica óptica debido a su capacidad de cambiar la longitud de onda de la luz.

Nanomáquinas:

Este término hace referencia a una máquina de una escala de pocos centenares de nanómetros construida para tareas específicas. Las nanomáquinas constituirían, según expertos, una segunda revolución industrial.

Nanomedicina:

Se sitúa como la rama de la nanotecnología que permitiría la posibilidad de curar enfermedades desde adentro del cuerpo a nivel celular o molecular. La nanomedicina se convierte así en una rama fundamental de las prometedoras aplicaciones de la nanociencia. Probablemente una de las de mayor alcance para el ser humano.

Nanómetro

Medida igual a la millonésima parte de un milímetro, o si se usa el sistema métrico decimal, equivale a la mil millonésima parte de un metro.

Nano – óptica:

Podríamos definirla como la interacción entre la luz y la materia al nivel de la nanoescala. La nano-óptica trata un amplio espectro de la óptica cubriendo tecnología y ciencia básica.

Nanopartículas:

Se concibe como una mezcla de elementos, ya sea individuales o compuestos simples, por lo general menores a los cien nanómetros. Las nanopartículas son más grandes que los átomos y las moléculas. No obedecen a la química cuántica, ni a las leyes de la física clásica, poseen características propias. Se sitúan en el corto plazo como una de las aplicaciones más inmediatas de la nanotecnología con productos y sectores que ya están presentes en el mercado.

Nanotecnología:

La palabra nanotecnología es usada para definir las ciencias y técnicas que se aplican a nivel de nanoescala, esto nos llevaría a la posibilidad de fabricar materiales y máquinas a partir del reordenamiento de átomos y moléculas. El desarrollo de esta disciplina se produce a partir de las propuestas de Richard Feynman.

Nanotecnología húmeda:

Tecnología que involucra los sistemas biológicos, como material genético, membranas, enzimas y otros organismos vivos.

Nanotecnología seca:

Tecnología que involucra los materiales inorgánicos, como son metales, materiales, etc.

Nanotubos:

Estructuras moleculares con formas cilíndricas asociadas a las propiedades de las Buckyballs. Los nanotubos de carbón o de otros elementos representan probablemente hasta el momento el más importante producto derivado de la investigación en fullerenos. Pueden fabricarse de diversas sustancias, pero la mayor parte de la investigación de nanotubos se centra en tubos formados por átomos de carbono puro. Los nanotubos de carbono son cien veces más fuertes que el acero,

soportan temperaturas de hasta 500 grados Fahrenheit y tienen sólo unos cuantos nanómetros de ancho.

P

Puntos cuánticos:

Un punto cuántico es una estructura cristalina a nanoescala que puede transformar la luz. El punto cuántico se considera que tiene una mayor flexibilidad que otros materiales fluorescentes, lo que lo hace apropiado para utilizarlo en construcciones a nanoescala de aplicaciones computacionales, donde la luz es utilizada para procesar la información.

Los puntos cuánticos están hechos de una variedad de diferentes componentes, tales como cadmio y selenio. El punto cuántico (Quantum dot) es llamado en ocasiones transistor de un solo electrón (single-electron-transistor), bit cuántico (quantum bit), o "qubit". Se podría definir como una partícula de materia tan pequeña que la adición de un único electrón produce cambios en sus propiedades.

S

Sistemas Micro Electro Mecánicos (MEMs):

Estos sistemas se refieren a la tecnología empleada para integrar varias funciones electromecánicas en circuitos integrados. Los MEMs combinan un sensor y la lógica para ejecutar las funciones. Los MEMS son una tecnología relativamente nueva que explota la infraestructura microelectrónica existente para crear máquinas complejas del tamaño de una micra (una micra es la milésima parte de un milímetro).

Supramolécula:

Un sistema de dos o más entidades moleculares unidas u organizadas por medio de interacciones de soldadura inter molecular.

T

Top-down

Técnica que consiste en simplificar una estructura compleja en sus componentes fundamentales.

Anexo B

Productos basados en nanotecnología

Empresa	Nombre del producto	Funcionabilidad / propiedades
Avondale Mills.	Nano-Pel, Bremen trousers, Sleepmaker and Dreamland, Bass Pro Shops, Ziener, DesignTex and Concept Seating. American Medical Solutions	Ropa resistente a manchas
Avondale Mills.	Nano-Dry, Elbeco, Croft & Barrow, Dockers, Savane Nike, Champion, L. L., Bean	Ropa resistente a la transpiración
Avondale Mills	Nano-Care, Gap, Eddie Bauer. Bass Pros Shops, Old Navy. Perry Ellis, White Swan, Brooks Brothers, DKNY, Haggar, Benetton, Madura Garments (India)	Ropa resistente a las manchas y arrugas
Avondale Mills	Nano-Fresh	Ropa resistente a olores
Schoeller NanoSphere		Ropa resistente a las manchas
DuPont	Levi's	Ropa protegida contra manchas
DuPont Textiles & Interiors & Outlast Technologies	Phase Change Materials	Material que responde a los cambios de temperatura del cuerpo (sube o baja la temperatura, según sea necesario)
JR Nanotech	Solefresh	Calcetines hechos con nanopartículas de plata antibacteriales
ICI & Woolmark Company	Sensory Perception Technologies	Tejidos que a través de liberación temporizada emanan perfumes, repelentes de insectos o desodorantes
U-Right Nano Textile Ltd & Kiu Hung Industries		Juguetes de felpa resistentes a las manchas, repulsivos al agua y menos susceptible a las bacterias
Guardian Industries, Corp.		Vidrio con un nano recubrimiento para mayor eficiencia térmica
Nanooptek		Microscopio de túnel de fotones "photon tunneling microscope" para proyectar la imagen de objetos pequeños (0.1 nm)
Industrial Corp & SC Biosciences Corp & Quantum Dot		Carbón negro para tóner, pulimento y neumáticos
Applied Nanomaterials	Nanolub	Lubricante para el desgaste y fricción de las máquinas, satélites y jets
Olight (subsidiaria de		Pantalla de diodo electroluminoso, nanotubos inorgánicos para

Empresa	Nombre del producto	Funcionabilidad / propiedades
DuPont)		visualización de panel plano
Nano-C, TDA & Carbon Nanotechnologies Inc., Mitsubishi		Fulerenos para bolas de boliche, farmacéuticas, cosméticos, lubricantes
Pilkington, Saint-Gobain. PPG Industries		TiO2 para vidrios resistentes a la suciedad, espejos, plásticos y metales
Johnson & Johnson		TiO2 para bronceador
L'Oreal	Plenitude Revitalift	Cremas cosméticas antiarrugas
Agilent		Equipo de pruebas biológicas, analizadores biológicos
Sequoia Pacific	SoilSET	Material anti-erosión, carpeta asfáltica
Wilson Sporting Goods	Double Core	Pelotas de tenis con nanotubos para duplicar su vida útil
Babolat (France)	VS Nanotube Power Racket	Raquetas de tenis de peso ligero, fuertes y con un 50% más de torsión, 20% de mayor resistencia a flexiones
Soundtec		Dispositivo para audición
Victor Castaño	Deletum 5000	Pintura anti-graffiti
NanoSys, Inc.		Solución líquido de nanoalambres de silicio recubiertos de vidrio o plástico para microarreglos de dispositivos electrónicos o biochips para análisis de ADN y proteínas
Frontier Carbon Corp. (Mitsubishi Chem. Corp. & Mitsubishi Corp.)	Fulerenos	40 toneladas/año en Mayo 2003, 1500 toneladas/año para 2007, la patente expira en 2009
Toray Industries	Nanotubos de Carbono	Producción masiva en 2004
Teijin Ltd.	Morphotex	Poliéster incoloro y transparente, y fibras de nylon que muestran un color azul, rojo, verde o morado, dependiendo la manera en que es expuesto a la luz, se planea usar para pinturas y ropa
Kodak, DuPont, Universal Display Corp., RiT Display Corp., Samsung NEC Mobile Display Co. Ltd., Sanyo, Cambridge Display Technology, SK Display Corp., Pioneer, Sony, Toyota, Motorola, & US Army	Diodos orgánicos emisores de luz (OLEDs)	Diodo orgánico emisor de luz. Para poder producir pantallas más delgadas, ligeras, más brillantes, más baratas y más eficientes que las pantallas de LCD – pantalla de crystal líquido- (cámaras digitales, teléfonos celulares, auto estéreos)
Eastman Kodak	EasyShare LS633	Cámara con zoom digital (con OLEDs),

Empresa	Nombre del producto	Funcionabilidad / propiedades
Company		107% más grande y menor consumo de energía
Royal BodyCare Inc.	Nanoceuticals™	Procesos de manufactura nanotecnológicos para producir productos llamados Nanoceuticals (chocolate dietético, cosméticos y vitaminas)
US Global Nanospace Inc.	GUARDS®	Protector ligero y durable para vehículos militares (Humvees) contra armas pequeñas y fuego (menor a 400°F)
Imago Scientific Instruments, Corp.		Nanomicroscopio, muestra imágenes de hasta 5 átomos
Optiva Inc.		Tecnología de recubrimiento para pantallas de cristal líquido de televisores y de monitores de computadora
Zyvex, Corp.	S100 nanomanipulator	Encapsulado de hormonas en nanotubos suspendidos en solventes para una formación sencilla de una dispersión para agregar como un módulo en un microscopio electrónico y poner en posición materiales en micro y nanoescala
SensiCore Inc.		Sensor de laboratorio integrado en un chip para monitorear las impurezas del agua
Nanosphere		Detectores de enfermedades
Quantum Dot Corp.	Qdot™ & Qtracker™	Nanocristales para producción de biotecnología y medicinas
Nanogram Devices Corp.		Defibriladores implantados y energizados por un polvo nanotecnológico
NanoMuscle Inc.		Motores del tamaño de un clip que funcionan a partir de cristales de titanio y níquel en nanoescalas usados en autos y juguetes
Quantumix	QX-capsule	Permiten la visualización SEM de objetos líquidos (células)
Health Plus International, Inc.	Spray for Life	Vitaminas en spray, más rápida absorción y mayor efectividad
Severn Trent Services & Bayer Chemicals	SORB33™	Se usa en el proceso para remover arsénico del agua utilizando nanogranulos de Bayoxide® E33
General Motors		Nanomateriales para partes automotrices más fuertes y duraderas
Optobionics Corp.		Retina artificial de silicón
Hitachi and Charmed Technologies		Computadoras
Nanogate (sold through)	Cerax Nanowax	Recubrimiento inteligente para superficies de esquíes que endurece conforme la

Empresa	Nombre del producto	Funcionabilidad / propiedades
Holmenkol)		temperatura disminuye
Franz Ziener GmbH & Co.	Oberammergau	Abrigos resistentes al aire y al agua y que permiten la transpiración
Nanofilm	Smith brand sunglasses	Lentes anti reflejantes y anti rayaduras
BASF	NuCelle SunSense SPF 30	Oxido de zinc nanodisperso que protege contra rayos UVA & UVB, transparente y no se absorbe por la piel
IBM	Millipede	Sistema para incrementar la capacidad de almacenamiento de datos en cámaras digitales, reproductores de música y videos, PDAs, teléfonos celulares, disponible a partir de 2005
Hitachi's Advanced Research Laboratory		Tecnología de nanoestampas para aplicaciones médicas
Asahi Glass Co, Ltd.	Metal Nano Dot (MND)	Nueva memoria no volátil
Moxtec, Inc.	ProFlux polarizer	Produce imágenes con resolución mejorada, alto contraste y brillo para proyectores y televisores de alta definición
Cyclone Aviation Products	U S. Global S.A.G. Humvee turret. Other products include G-Lam, G-Lam-C, NanoFilters, NanofilterCX, All Clear Chem/Bio Decon Foam, S.A.G. Turrets, BlastX, G- Armor and RadomeX.	Torreta blindada liviana para vehículos militares que permite una rápida rotación y protege contra amenazas balísticas de calibre .50
Nanomix		Detección y monitoreo médico y ambiental
NanoTITAN, Inc.	nanoML®	El primer y único lenguaje formado para el desarrollo del nano Xplorer
	nanoXplorer™	Software que contiene un conjunto de herramientas utilizadas para intercambiar y diseñar nanotecnología en explorer,
	nVisualizer™	Poderosa aplicación construida en Java que integra y permite visualizar datos
SUSS MicroTec	NPS 200	Maneja de manera exitosa aplicaciones de conformado en frío y en caliente
Nanogen, Inc.	NanoChip Molecular Biology Workstation	Utilizados para la detección del mal de Alzheimer's (St. Joseph's Hospital en Phoenix)

Empresa	Nombre del producto	Funcionabilidad / propiedades
Phillips & Sandvik Materials Technology	Cool Skin Electric, Quadro Action and Sensotec Shavers	Láminas de acero inoxidable para componentes de rasuradoras. Estas láminas tienen mayor resistencia, son más fáciles de trabajar y tienen mayor resistencia a la corrosión
Intel	LCoS chips	Cristal líquido en chips de silicón que más baratas
NanoSignal Corporation	SLICES™	Nueva tecnología que mejora los scanners de MRI (resonancia magnética), creando mejores imágenes en menor tiempo y reduciendo los costos
Star-Pharma (via 49.9% share in Dendritic Nanotechnologies)		Una gran variedad de productos dendríticos de investigación para nuevos medicamentos
Eastman Kodak Company	Ultima Picture Paper with COLORFAST	Papel fotográfico para inyección de tinta que es altamente resistente a factores ambientales como humedad, ozono, luz, y puede durar más de 100 años sin protección y está hecho a partir de nanopartículas de cerámica
Evolved Nanomaterial Sciences, Inc		Técnica para la separación quiral mediante la técnica de nanoscaffolding
BioSante Pharmaceuticals, Inc.	Calcium phosphate-based nanotechnology (CAP) BioVant™ BioOralt™	Para producir vacunas y medicinas más seguras y efectivas Es un coadyudante para vacunas con el fin de hacerlas menos tóxicas y poder tener rutas alternativas de administración como son: nasal, oral y transcutánea sin jeringa Suministro oral de proteínas como insulina, hormona del crecimiento, y otras proteínas de uso terapéutico que actualmente se inyectan
Millenium Chemicals	Ecopaint	Pintura que absorbe la mayor parte de los gases dañinos emitidos por vehículos, compuesta de nanopartículas de dióxido de titanio y carbonato de calcio que convierten los óxidos de nitrógeno en ácido y los neutraliza con el carbonato de calcio, durando hasta 5 años

Empresa	Nombre del producto	Funcionabilidad / propiedades
Eikos, Inc.	Nanoshield	Recubrimiento para proteger a vehículos militares de descargas electrostáticas
Dr Ian Wilding	Enterion capsule	Cápsula que contienen un transmisor diagonal receptor, una fuente de poder y un mecanismo de resortes para dosificar un medicamento (ya ha sido probado en 1,000 personas) y estará disponible en un par de años
DaimlerChrysler	Mercedes-Benz	Pintura que es tres veces más resistente a los rayones que una pintura normal. Es una pintura que no necesita ser pulida y hay otra que puede convertir la luz solar en energía eléctrica y también se aplica ésta tecnología en rines que no se ensuciarán
US Genomics	Trilogy	Permite análisis e identificación de moléculas pequeñas (ARN, proteínas, etc.)
Científica	NanoInscisor™	Servicio de alerta que contiene un reporte diario con todos los aspectos relacionados a la nanotecnología
Triton BioSystems and UMass Lowell	Targeted Nano-Therapeutics™	Tecnología innovadora diseñada para dar a los pacientes en etapas terminales de cáncer de próstata y de senos una segunda oportunidad para recuperarse sin los efectos colaterales de las terapias utilizadas en la actualidad (radioterapia y quimioterapia)
Intel Corp.	Sibley Prescott chip	Memoria de un bit por célula que provee una reducción de la mitad de las partes existente de 130 nm (90nm), ofrece una lectura de información 2 veces más rápida y de escritura 4 veces más rápida Es el primer nanochip real de un tamaño de 90 nm y promete una velocidad de procesamiento de 4 gigahertz (los procesadores Pentium actuales trabajan a 130 nm y entregan una velocidad de 2 gigahertz)
Toshiba Corp.	CMOS5	Producción del chip CMOS4 de 65 nm
NewMagnetics Ltd	DataInk	Nuevo formato de memoria digital

Empresa	Nombre del producto	Funcionabilidad / propiedades
Texas Instruments		Procesadores digitales ligeros (DLPs) en 2005-2006
eMembrane Inc.		Desarrollo de una tecnología para insertar nanofilamentos en la superficie de un polímero, éstos filamentos pueden ser adaptados para objetivos específicos como iones, proteínas o células enteras conforma se van moviendo a través de la superficie
Novavax	Estrasorb	Aprobado en octubre de 2003 por la FDA para la prevención de bochornos en mujeres menopáusicas, una plataforma de nanopartículas para dosificar medicinas, una emulsión tópica de aceite, agua y lípidos capaces de ser absorbidos por la piel
American Pharmaceutical Partners	Abraxane	Desarrollo de medicinas basadas en nanopartículas que se aplicarán en el tratamiento del cáncer de seno
Advanced Magnetics	Combidex	Está trabajando en la aprobación final por la FDA para su agente de MRI que ayudará a diagnosticar nódulos cancerígenos y diferenciarlos de nódulos que simplemente están inflamados
Symphotic Tii	Nanofinder 30	Lanzado en Japón en 2003, es capaz de obtener una resolución lateral de 200 nm, y una resolución axial de entre 400 y 600 nm, como también una sensibilidad continua de foton sencillo y aplicaciones que incluyen la detección fluorescente molecular y análisis espectral especial de varios materiales incluyendo nanotubos de carbón, células vivas y semiconductores

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Mayo de 2003.

Adicionalmente, se enlistan algunas compañías que están desarrollando tecnologías a favor del estudio de la nanotecnología:

Principales Compañías en el Desarrollo de Nanotecnología			
Compañía	Siglas	Áreas de Desarrollo	Centros de Investigación y Desarrollo
BASF	BF	Investigación de Polímeros, nanotubos (para almacenamiento de	Institut de Science et d'Ingénierie

Principales Compañías en el Desarrollo de Nanotecnología			
		H), nanofiltración, nanopartículas orgánicas de pigmentación, nanorecubrimientos, materiales y superficies nanoestructuradas, nanofibras sintéticas	Supramoléculaires (ISIS)
DOW Chemical	DOW	Nanogeneradores, Partículas nanoestructuradas, dosificación de medicamentos, investigación de Polímeros	
DuPont	DD	Nano recubrimientos, tecnologías de color, nanoelectrónicos	Socio del Instituto de Nanotecnologías para el Soldado
General Electric	GE	Desarrolla biomiméticos, nanotubos, nanocables, nanocompuestos, optoelectrónicos nanoestructurados	GE Global Nano Research
General Motors	GM	Nanocompuestos y celdas de combustible de hidrocarburos	
Hewlett-Packard	HPQ	Electrónicos moleculares, nanocables, semiconductores y equipo, nanodispositivos, biochips	Quantum Science Research Center.
Hitachi	HIT	Materiales semiconductores avanzados y equipo, chips de ADN, dispositivos electrónicos, ciencias de la salud, componentes electrónicos y productos industriales avanzados, aplicaciones ambientales, litografía de rayos de electrones y semiconductores Avanzados.	Se estima una inversión de \$280M por año*
Intel	INTC	Componentes y sistemas	
IBM	IBM	Microscopía (STM, AFM) y Sensores cantilever para AFM, imágenes de resonancia magnética, microscopía de fuerza dinámica, nanomáquinas, nanocircuitos Integrados, herramientas para ensamblar estructuras moleculares, almacenamiento termomecánicos, estructuras magnéticas ultradelgadas	Millipede
Lucent	LU	Nanoelectrónicos, semiconductores orgánicos, nanotransistores, fabricación de nanocristales, investigación de física óptica, investigación de polímeros y materiales biológicos	New Jersey Nanotechnology Lab, Bell Labs
Merck	MRK	Bioinformáticos, medicinas de patente, modelado molecular	
Mitsubishi	MSBHY. PK	Nanoproductos de carbón (fulerenos y nanotubos usados en farmacéuticos, cosméticos, baterías, celdas de almacenamiento de H, materiales superconductores y diamantes artificiales), nanopartículas, separación de	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Principales Compañías en el Desarrollo de Nanotecnología			
		nanocristales, nanocristales Semiconductores	
Motorola	MOT	Biochips, Chips de Gallium y Arsénico, Nanotubos	Asociación con la Universidad Rice, Motorola Physical Research Labs (Francia y Japón). Se estima una inversión de \$15M por año*
NEC	NIPNY	Nanotubos de Carbono, celdas de combustible	NEC Fundamental Research Laboratorios
Xerox	XRX	Nanopartículas, nanomagnetos, nanoelectrónicos	Palo Alto Research Center
Fuente: Company data, CSFB estimates. Mayo 21 de 2003			

Anexo C

Los 10 principales apoderados de patentes nanotecnológicas

A finales de 2004 la Oficina de Patentes y Marcas Registradas de Estados Unidos (US PTO) estableció una clasificación especial (Clasificación 977) para las patentes de nanotecnología. Los examinadores de están revisando las patentes ya otorgadas para reclasificarlas, a lo que se suman nuevas patentes cada semana. La clasificación 977 no brinda información clara sobre patentes en nanotecnología, pero sus más de 2,600 patentes dan un panorama general que merece atención:

Apoderado/Sede	Número en la Clasificación 977
IBM, EEUU	80
Estados Unidos de América*	69
Silverbrook Research, Australia	60
Canon Kabushiki Kaisha, Japón	56
University of California, EEUU	45
Hitachi, Ltd., Japón	30
Advanced Micro Devices, EEUU	28
L'Oréal, Francia	26
Eastman Kodak, EEUU	26
California Institute of Technology, EEUU	22
Micron Technology, Inc., EEUU	22
Procter & Gamble Co., EEUU	21
Seagate Technology, EEUU	21

* Patentes de la Clasificación 977, asignadas al gobiernos de Estados Unidos

Institución	Número de patentes
Marina	18
Departamento de Salud y Servicios Humanos	13
Armada	10
NASA	8
Departamento de Comercio	8
Departamento de Energía	4
Fuerza Aérea	5
Agencia Nacional de Seguridad	1
Departamento de Agricultura	1

Fuente: ETC Group, Communiqué 91, diciembre de 2005.

Anexo D

Investigación y desarrollo en nanotecnología: las compañías de alimentos y bebidas más grandes del mundo

Compañía	Ventas por alimentos y bebidas en millones de dólares (2003)*	Actividad relacionada con la nanotecnología, si se conoce
Nestlé (Suiza)	\$54,200	Apoya a un grupo de investigación en nanotecnología para la alimentación; hay pocos detalles disponibles para el público.
Altria (Fraft Foods) (EUA)	\$29,700	Estableció el primer laboratorio de nanotecnología de la industria de la alimentación en 1999. Financia y patrocina al Nanotek Consortium, que hace investigación y desarrollo en "bebidas inteligentes" y nano cápsulas.
Unilever (Reino Unido y Países Bajos)	\$25,700	Realiza investigación y desarrollo en nanocápsulas. En 1997, Unilever formó una empresa de capital de riesgo compartido con la Universidad de Cambridge para constituir un centro de informática molecular en Cambridge (Unilever Cambridge for Molecular Informatics). En 2002, Unilever anunció que invertiría 30 millones de euros durante tres años en Unilever Technology Ventures, empresa con sede en santa Mónica, California, para identificar e invertir en fondos dedicados a la tecnología y en compañías de innovación. Su objetivo sería enriquecer la investigación y desarrollo de Unilever explotando nuevas tecnologías, incluyendo genómica y nanotecnología.
PepsiCo (EUA)	\$25,100	Ocupa el cuarto lugar en la lista de las diez compañías de alimentos y bebidas más grandes del mundo.
Cargill (EUA)	\$20,500	Ocupa el séptimo lugar en la lista de las diez compañías de alimentos y bebidas más grandes del mundo. Está asociada con EcoSynthetix para desarrollar almidón de maíz nanométrico para empaques de cartón.
ConAgra (EUA)	\$19,800	Ocupa el octavo lugar en la lista de las diez compañías de alimentos y bebidas más grandes del mundo.
General Mills	\$10,500	Dedica entre 6 y 9 mil millones de dólares a la investigación y desarrollo en nanotecnología**
Sara Lee	\$9,800	Ocupa el lugar 19 en la lista de las 100 compañías de alimentos y bebidas más grandes del mundo.
HJ Heinz	\$8,200	Investigación en saborizantes y colorantes para alimentos. El sector servicios relacionado con los comestibles está incorporando nanotecnología en sus "dispensadores

		inteligentes" y sus "comidas inteligentes", y en el uso de nano materiales en el empaqueo**
Campbell Soup (EUA)	\$6,700	Uno de sus objetivos es el mejoramiento del sabor.**
Marahua (Japón)	\$6,300	Es el primer productor de mariscos en Japón.
Associated British Foods (Reino Unido)	\$6 mil	Grupo de menudeo de comida internacional y producción de ingredientes con ventas anuales por 4900 millones de libras.
Ajinomoto (Japón)	\$5,800	Su investigación y desarrollo nanotecnológico se encamina a una mejor absorción y mejores sistemas de suministro de alimentos y fármacos.**
DuPont Food Industry Solutions (EUA)	\$5,500 (ventas de insumos agrícolas y alimentarios, fuente: DuPont).	Establecida en mayo de 2003, esta empresa es un socio estratégico de DuPont realiza investigación en ingeniería de alimentos con base en el tamaño de las partículas en el Particle Size and Technology Research Group, con sede en Wilmington, Delaware. La compañía prefirió no brindar información detallada.
McCain Food (Canadá)	\$4,600	Corporación canadiense de alimentos, privada. En 2002, tuvo el séptimo lugar mundial en alimentos congelados.
Nippon Suisan Kaisha (Japón)	\$4 mil	Es la segunda firma de productos marinos más grande de Japón, sus operaciones pesqueras resultan en más del 45% de sus ventas.
Nichirei (Japón)	\$2,800	Es el principal productor de alimentos congelados de Japón.
BASF (Alemania)	5021 millones de euros en ventas, es su división de productos agrícolas y de nutrición.	Las ventas anuales de BASF en el rubro de productos derivados de la nanotecnología alcanzan aproximadamente los 2 mil millones de euros. La mayoría de esas ventas no provienen de comestibles, aunque BASF vende carotenoides nano escalares como aditivos para alimentos.
Goodman Fielder	sin información	Es el fabricante de comestibles más grande de Australia.
John Lusty Group, PLC	sin información	Importador y distribuidos de comestibles con sede en el Reino Unido.
La Doria Northerm Foods	sin información	Empresa italiana, uno de los líderes en el procesamiento de productos derivados del tomate.
Northern Foods	sin información	Uno de los más grandes procesadores de alimentos en el Reino Unido.
United Foods	sin información	Empresa privada, productora y procesadora de vegetales, con sede en Estados Unidos.

Fuente: ETC Group. "La invasión invisible del campo: el impacto de las tecnologías nanoscópicas en la alimentación y la agricultura". México, noviembre de 2004.

Anexo E

Patentes de nanotecnología para comestibles y su empaqueo

Dueño de la patente y país de procedencia	Tipo de patente, número de solicitud o número de asignación; fecha de expedición o publicación	Extracto de su descripción
Atofina, Francia	Empaques wo04012998A3	"Compuesto para empaque de comestibles, basado en resina aromática de vinil, que contiene un relleno mineral laminado en forma de nano partículas."
Nutrlease, Ltd., Israel	Suministro corporal (conocido en inglés como Bio Delivery) US20030232095A1 18 de diciembre de 2003	"Los concentrados nanométricos de la presente invención posibilitan de manera eficiente la solubilización, el transporte y la dilución de nutraceuticos, suplementos alimenticios, aditivos alimentarios, extractos de plantas, medicamentos, péptidos, proteínas o carbohidratos solubles en aceite, insolubles en aceite o solubles en agua. Por ello pueden usarse como vehículos eficientes para el transporte de materiales activos dentro del cuerpo humano."
(Sin información)	Suministro corporal US20030152629A1 14 de agosto de 2003	"sistema de liberación controlada que puede encapsular diferentes sabores, marcadores sensoriales o combinaciones de sabores e ingredientes activos; liberar múltiples ingredientes activos de manera consecutiva, uno después del otro. El sistema de suministro controlado es sustancialmente un polvo que fluye libremente, formado de nano esferas hidrofóbicas sólidas, encapsuladas en micro esferas sensibles a la humedad."
Qingtian New Material Research & Development Co., China	Aditivo para alimentos CN1409966A 16 de abril de 2004	"Polvo antibacterial nanométrico que no decolora los alimentos. Contiene partículas de fosfato de circonio como transportador y componente activo antibacterial. Sus ventajas son su pequeña granulosis, un amplio espectro, alta compatibilidad, estabilidad y eficiencia antibacterial. Es atóxico."
Pengcheng Vocational University, China	Empaque de comestibles CN1408746A 9 de abril de 2003	"Película plástica antibiótica para conservar la frescura. Su método para producirla."
Henkel KommandiGesellschaft Auf Aktien,	Procesado de comestibles y suministro corporal	"Alcali acuoso, cáustico, para limpieza en instalaciones de procesamiento de alimentos, que rinde un concentrado regenerado útil de manera

Düsseldorf, Alemania	US6204231 20 de marzo de 2003	directa en alimentos para animales, contiene hidróxido de potasio acuoso y opcionalmente otros álcalis, especialmente hidróxido de sodio."
(Sin información)	Suministro corporal US6197757 6 de marzo de 2001	"Partículas, especialmente micro partículas o nanopartículas de monosacáridos y oligosacáridos eslabonados. El proceso de su preparación y compuestos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos donde se encuentren presentes."
Kraft Foods	Suministro corporal EP1355537A1 29 de octubre de 2003	"Producción de cápsulas y partículas para el mejoramiento de productos alimenticios."
BASF	Aditivo para alimentos us5968251, 19 de octubre de 1999	"Preparaciones con carotenoides en la forma de polvos dispersables en agua fría, producidos al...preparar una solución acuosa de un coloide protector, donde el componente hidrofílico solvente se transfiere a la fase acuosa, y la fase hidrofóbica del carotenoide resulta una fase nano dispersa..."
Rohm and Haas	Suministro CORPORAL EP14477074A2, 18 de agosto de 2004	"Nano partículas poliméricas para productos de consumo. Nano partículas poliméricas eslabonadas con un diámetro de 1-10 nm, que contienen ingredientes para el cuidado de la piel e ingredientes alimentarios."
Borealis Technology, Finlandia	Empaques WO04063267A1, 29 de julio de 2004	"Artículo que comprende la composición de polímeros dilatados con rellenos nanométricos: artículo de polímero (por ejemplo película de empaque de alimentos), que comprende una composición de polímero con matriz de polylefina y relleno nanométrico disperso en la matriz."
Cap-Solution, Nanoscience Ag, Alemania	Suministro corporal WO04300649A2, 15 de abril de 2004	"Micro cápsula o nano cápsulas que contienen un agente activo soluble en pequeñas cantidades de agua, útil para una liberación rápida de los fármacos administrados oralmente. Contiene una cubierta permeable con polyelectrolitos y contra-iones."
University Colleague, Dublin, National University of Ireland, Dublin	Aditivo para alimentos wo040116696A1, 26 de febrero de 2004.	"Método para la manufactura de micro partículas con diseños, comprende micropartículas inmovilizantes, incluyendo nanopartículas, para ser labradas en la superficie de una membrana porosa, lo que da por resultado un material protector orgánico o inorgánico que puede adherirse a las superficies expuestas de dichas micro partículas...Las partículas con diseño producidas pueden usarse en un amplio rango de aplicaciones en salud, información y comunicación, y en ambientes sustentables. Sirven en habitaciones, vestido, energía, alimentación, transporte y seguridad."
Rhodia Chimie, Boulougne-Billancourt Cedex, Francia	Suministro corporal WO03095085A1, 20 de noviembre 2003	"Dispersiones coloidales de nanopartículas de fosfato de calcio y por lo menos una proteína. El tamaño de las nanopartículas oscila entre los 50 y los 300 nm, siendo esférica la morfología de dichas nanopartículas...La invención puede usarse en la alimentación, la cosmética, y para usos farmacológicos industriales."
Shanxi Coal Chemistry Institutes,	Empaques, CN 1454939A, 12 de	Método de preparación de gránulos de dióxido de titanio nanométricos, cuya superficie está cubierta

Academia China de Ciencias, China	noviembre 2003	con óxido de aluminio. El dióxido de titanio nanométrico, cubierto con dióxido de aluminio tiene buenas propiedades de dispersión, puede instrumentar la dispersión de gránulos individuales, puede usarse como un excelente agente filtrante de rayos ultravioleta (UV) y puede usarse en los campos de la pintura, el caucho, las fibras, el recibimiento de materiales, en protectores contra el sol, en tinta para impresiones y empaque de alimentos, etc."
Guan-Gzhou Institutue of Chemistry, Academia China de Ciencias, China	Aditivo alimentario CN1448427A, 15 de octubre de 2003	Avicel (celulosa micro cristalina) nanométrica, dispersable en agua, su preparación y producto coloidal: el polvo microcristalino de celulosa nanométrica es celulosa microcristalina con modificación nanométrica en su superficie, con un coloide hidrofílico agragado en cantidad de 5-150 WT% y el tamaño de su grano oscila entre 6,3-100 nm. Durante su preparación, el coloidehidrofílico se dispersa homogéneamente en un medio de celulosa microcristalina con superficie modificada nanométrica.La mezcla se seca y se comprime. La celulosa microcristalina nanométrica es fácil de dispersar en agua para formar un coloide, que es homogéneo y con gran fuerza de adherencia, y mantiene el tamaño diminuto de la celulosa microcristalina, de modo que tiene un campo amplio y particular de aplicación innovadora en producción de alimentos, medicina, elaboración de papel, textiles, preparación de nuevos materiales y otros campos."
Zhang Liwen, China	Aditivos para alimentos, suministro corporal, CN1439768A, 3 de septiembre 2003	"Polvo nano métrico de plumas, su procesamiento y utilización: un tipo de polvo nanoscópico de pelusa de pluma, usado como aditivo funcional y de cuidado de la salud en alimentos, cosméticos, medicina o fibras químicas. Es preparado a partir de la pelusa de pluma de pato, ganso y otros pájaros, mediante un lavado con agua, un filtrado y luego un pulverizado de plumaje, una inmersión en alcohol, un secado por centrifugación, oscilación en micro ondas, enfriado rápido, otro pulverizado a baja temperatura y un cernido final. Su ventaja es no perder componentes activos, una alta superficie de área específica, actividad molecular y afinidad con el cuerpo humano y un efecto de mayor cuidado a la salud."
Nano-Materilas Technology Pte, Ltdt;Singapore Beijing University of Chemical Technology	No se especifica el objeto WO03055804A1, 10 de julio, 2003	"Carbonato de calcio de formas diversas que incluyen espigas, pétalos, filamentos, agujas, hojuelas, esferas y fibras. El carbonato de calcio tiene un tamaño promedio de partícula del orden de entre 10 nm y 2.5 micras y puede utilizarse en varios campos, como son el hule, los plásticos, la manufactura de papel, recubrimientos, materiales de construcción, tintas, pinturas, alimentos, medicina, industria química doméstica y textiles."
Cellresin Tchnologies, Llc	Empaque US2003012903A1,	"Material obstructor hecho con partículas de metal nonoscópico como recubrimiento laminado de

	10 de julio de 2003	plástico o materiales de empaçado en contacto con alimentos, comprende partículas de zinc o un metal o aleación metálica de reacción semejante, dispersa en un material matriz."
Bridgestone Corporation, Tokio, Japón	Aditivo de alimentos US6579929, 17 de junio de 2003	"Silice corporal y el método de preparación y uso del mismo: se procura una superficie estabilizada de sílice no aglomerado puede usarse como aditivo en cualquier aplicación que requiera sílice, tal como los rellenos reforzantes en las composiciones elastoméricas, alimentos, fármacos, dentífricos, tintas, toners, recubrimientos y abrasivos."
Central P BV, Naarden, Holanda	Suministro corporal wo030245583A1 27 de marzo de 2003	"Novedosos sistemas coloidales dispersables en la forma de nanopartículas con usos médicos, biológicos, veterinarios, cosméticos y alimentos, que incluyen nanopartículas de calixareno modificado antifilicilmente."
Wageningen Centre for Food Sciences, Wageningen, Holanda	Alimentos WO03011104A1	"Novedoso proceso para preparar compuestos acuoso-gelatinoso. Dicho proceso emplea una proteína globular formadora de gel semejante a la proteína del suero, la ovo albúmina o la proteína de soya...La invención se relaciona también con los productos obtenibles con el proceso mencionado."
Universidad de Sevilla, Universidad de Málaga, España	Suministro corporal, aditivos en alimentos, WO0206591A1, 8 de agosto 2002	"Dispositivo para producir flujos capilares de líquidos de múltiples componentes estacionarios, y cápsulas microscópicas y nanoscópicas, cuyo diámetro puede variar entre las decenas de nanómetros y los cientos de micras, y que conducen a un aerosol relativamente mono disperso de gotitas de múltiples componentes con carga eléctrica, generada por la ruptura de los flujos debida a la inestabilidad capilar. El dispositivo y el método pueden usarse en campos como la ciencia de materiales y en tecnología de alimentos, y donde quiera que la generación y el manejo controlado de flujos nanométricos sea parte esencial del proceso"
Mars, Inc.	Aditivo de alimentos US5741505, 21 de abril de 1998	"Un producto comestible recubierto que comprende...material comestible...y una cubierta continua, inorgánica en la superficie del material comestible, donde la dicha cubierta cubre por lo menos una porción del material comestible y la dicha cubierta tiene un grosor que va de 0,0001 a 0,5 micras."
Globasia, Lic, Hanover, Md	Conservador de alimentos US6379712, 30 de abril de 2002	"El invento se relaciona con gránulos de plata nanométrica que combaten hongos y bacterias (conocidos en inglés como NAGs) Los Nags tienen un efecto inhibitorio duradero sobre el amplio espectro de hongos y bacterias. Los Nags pueden usarse en una variedad de productos industriales y de cuidado de la salud. Los ejemplos de los productos industriales incluyen, pero no se limitan, a conservadores de alimentos, desinfectantes de agua, desinfectantes de papel, materiales de relleno de construcción (para evitar la formación

		del moho)."
Colética, Lyons, Francia	Suministro corporal US633150, 16 de octubre 2001	"Método de producción de nano cápsulas con paredes de proteína eslabonada, obteniendo compuestos alimentarios, cosméticos y farmaceuticos que hacen uso de las mismas."
Lu Bingkun China	Empaque, DE199371117A1 8 de febrero de 2001.	"Proceso de preparación de plásticos antibacteriales para envases de alimentos y bebidas usando polvos antibacteriales nanoescalares."
Tetra Laval Holdings&Finance SA	Empaque US611751, 12 de septiembre 2000	"Material de polyolefina integrado con partículas en fase nanoscópica: laminados de empaque usados en los envases de alimentos fluidos, por ejemplo leche o jugo, comprenden una capa de polyolefina entreverada con partículas de arcilla nanométrica, con propiedades obstructuras de gases."
Sin información	Empaque US5946930, 8 de febrero de 2001	"Envase auto refrescante de alimentos y bebidas, que utiliza fullerenos tubulares nanoscópicos."

Fuente: ETC Group. "La invasión invisible del campo: el impacto de las tecnologías nanoscópicas en la alimentación y la agricultura". México, noviembre de 2004.

Anexo F

Entrevistas realizadas a expertos mexicanos en nanotecnología

Dr. Alipio Calles Martínez

Coordinador del Proyecto Universitario de Nanotecnología.

- **¿Cuáles son sus líneas de investigación?**

Yo soy un investigador teórico, provengo de una formación abstracta en física, física molecular y física del estado sólido. La física del estado sólido la empecé a estudiar en mi post doctorado en Suecia, y a partir de entonces me involucré con temas de superconductividad, posteriormente en materiales, que fueron dando lugar a lo que hoy se conoce como nanociencia y finalmente meterme a la nanotecnología.

Cuando surgen los primeros elementos que van a caracterizar a las nanociencias, tuve la oportunidad de estudiarlos gracias a mis conocimientos y a mi formación académica, realicé muchos cálculos teóricos en materiales, estuve trabajando en fulerenos, nanotubos y estudios teóricos en transistores, que sí se han hecho en el mundo, tratando de entenderlos teóricamente para sugerir mejoras o hacer otro tipo de transistores.

- **¿Desde cuándo y por qué, nace el interés de trabajar en nanociencia y/o nanotecnología?**

Empecé a trabajar con nanociencia hace alrededor de 14 años, en fulerenos, de hecho mi primer trabajo fue: "*estudio de las vibraciones con fulerenos*", en un congreso de la Sociedad Mexicana de Física en conjunto con la canadiense y la americana, allí fue donde presenté mi primer trabajo, y desde entonces no he parado en la investigación de ésta área, aunque nunca he dejado la superconductividad. Mis publicaciones y presentaciones en congresos eran de superconductividad, pero también me metí a fulerenos. Otra de las razones por las que empecé a estudiar estos temas fue porque en la Universidad había grupos de investigadores experimentales en superconductividad, por lo que metí mucho en ésta área y posteriormente empezaron a surgir grupos de investigación en nanociencia, por ejemplo, en el Instituto de Física, Instituto de Materiales, Instituto de Química y Facultad de Química. Entonces podría decirse que se conjuntó un ambiente para trabajar en ésta área.

- **¿Alrededor de cuántas publicaciones ha realizado en el área de la nanociencia y/o nanotecnología?**

No recuerdo el dato exacto, pero sobre fulerenos, que podría decirse que es el comienzo de la nanociencia o lo que da origen a las nanociencias, calculo que tengo alrededor de 10 artículos, y cada año presentando algún trabajo en congresos ante la Sociedad Mexicana de Física, la Sociedad Americana de Física y la Sociedad Americana de Materiales, he de tener como 20 o 30 trabajos.

- **¿De dónde proviene el presupuesto para sus investigaciones?**

Inicialmente era el presupuesto de las facultades, no había un presupuesto destinado a la investigación de nanociencia, sino que era el presupuesto que nos tocaba como profesores. Es hasta ahora que gracias a la visión que han tenido, tanto el Coordinador de la Investigación Científica, Dr. René Drucker y el rector de la UNAM, Dr. Juan Ramón de la Fuente, de apoyar proyectos con contenido social, relevantes académicamente, con una política de inversión en la nanociencias, además de otros proyectos de vanguardia, que son los denominados proyectos IMPULSA, que tienen que ver con: desalación de agua de mar y purificación de aguas residuales; células troncales adultas, regeneración neuronal y enfermedad del parkinson; un paradigma de bioingeniería celular en el cerebro adulto; sistema de información informática para la biodiversidad y el ambiente; y finalmente el proyecto de nanocatalizadores para el mejoramiento del medio ambiente. Cada uno de estos proyectos con un presupuesto inicial de 10 millones de pesos. Este presupuesto es adicional al asignado para la investigación tradicional, por lo que la investigación básica que se realiza en los institutos no se ve afectada.

- **¿Considera que exista alguna institución que repunte en la investigación de nanociencia y/o nanotecnología en México?**

Yo diría que el Instituto de Física, el Instituto de Investigación en Materiales, el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico y Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM, son los que en mi opinión están a la cabeza en cuanto a prácticas de nanociencia se refiere. Sin menosprecio hacia otras entidades académicas o instituciones que también realizan trabajo en el área y que han realizado un gran esfuerzo por impulsar a las nanociencias.

- **En su opinión, ¿cuál es la situación de la nanotecnología, tanto en un panorama mundial, como nacional?**

La nanotecnología en el mundo está avanzando a pasos agigantados, cada semana me sorprende de las cosas que están haciendo en alguna Universidad, sobre todo en Universidades públicas del mundo, también en algunas Universidades privadas e institutos de investigación. Es sorprendente oír las aplicaciones que mencionan, algunas en medicina, en electrónica, informática. Todos estos avances se pueden consultar en las noticias científicas de internet, pero seguramente también en periódicos. Lo más espectacular para mí va a ser en medicina y ciencias de la salud. Muy pronto vamos a detectar y curar el cáncer usando nanotecnología. Van a existir cosas inevitables, pero vamos a mejorar muchísimo.

En el caso particular de México, creo que tiene un papel importante. He revisado algunas estadísticas en donde se menciona que la ciencia que hace México, tomando en cuenta un promedio mundial, se encuentra por debajo del promedio, las ciencias que podrían estar más cerca de éste, son las ciencias espaciales, están un 10% abajo del promedio internacional, luego vienen las ciencias de materiales, que están por abajo en un 20% y mucho se debe a la nanotecnología que estamos haciendo. Estas son de las ciencias que están más cercanas al promedio mundial.

Si hablamos de la investigación que se realiza en la UNAM, como es bien sabido, la Universidad realizó el 50% de la investigación en México, y en caso de la nanociencia, también realiza el 50% de investigación en el área.

Desafortunadamente la ciencia en este sexenio se vio afectada, hubo un retroceso de inversión del 0.42% del PIB en el 2000 a 0.36% en 2005.

- **¿Qué es lo que necesita México para poder lograr una iniciativa nacional de nanociencia y nanotecnología?**

Este es un punto muy importante, en el mundo a partir de que surge el “boom” de la nanotecnología, las principales potencias lanzaron iniciativas de investigación con grandes cantidades de dinero, la inversión que realiza Estados Unidos actualmente es de miles de millones de dólares y en Latinoamérica, países como Brasil ya cuentan con una iniciativa importante. En

México hemos estado promoviendo desde hace cinco años una iniciativa y a la fecha no se ha logrado, CONACYT, no brindó, ya no digamos dinero, sino apoyo para fortalecer esta iniciativa. Lo que necesitamos es que se pongan las pilas las autoridades e inviertan más en ciencia y tecnología.

- **¿Por qué México debe invertir en nanociencia y nanotecnología?**

Yo diría que es el mejor negocio del mundo. El negocio del futuro va a ser el conocimiento en ciencias como la genómica, la biotecnología y la nanotecnología.

- **¿Existe algún peligro en el desarrollo de la nanotecnología?**

Yo espero que no, que no se generen más problemas de los que se puedan resolver. Eso pasó mucho con la tecnología del siglo pasado, se afectó el medio ambiente en forma importante, se contaminó el agua, etc. Espero que la nanotecnología tenga claro que lo primordial es el medio ambiente, y yo creo que así es, de entrada por el tamaño de partículas que se maneja, ya que no existiría una contaminación masiva. De cualquier modo, se estudiarán sus efectos, y si hay problemas se van a decir, aunque yo en este momento no tengo claros los problemas que pudieran surgir.

- **Para finalizar, ¿existe algún comentario que quisiera agregar?**

Sí claro, yo digo que la ciencia sin la ingeniería no va a dar lugar a la tecnología, es por eso que la participación de los ingenieros va a ser trascendental.

Dra. Gabriela Díaz
Investigadora del Instituto de Física, UNAM

- **¿Podría hablarnos acerca de sus líneas de investigación?**

Mi trabajo de investigación está relacionado con los catalizadores heterogéneos, que son en sí mismos, sistemas nanoestructurados, ¿qué es un catalizador heterogéneo?, bueno, primero ¿qué es un catalizador?: un catalizador es una sustancia química que acelera una reacción. A través de un catalizador una reacción química llega más fácil al equilibrio, no tiene la capacidad de cambiar las propiedades termodinámicas de una reacción, sólo las acelera. La catálisis es muy importante: los procesos de los seres vivos son procesos catalíticos, muchos de los procesos biológicos que ocurren en nuestro cuerpo ocupan enzimas que son catalizadores; esto se conoce como catálisis enzimática. Otro ámbito muy importante de la catálisis homogénea es cuando la sustancia que va a reaccionar y el catalizador están en la misma fase, por ejemplo, en estado líquido. Yo trabajo en lo que se llama catálisis heterogénea, que se caracteriza porque el catalizador es un sólido nanoestructurado, aquí es donde aparece la palabra nano; y lo que se va a transformar es un líquido o gas, entonces la reacción catalítica ocurre en la interfase, en la superficie de ese sólido que es el catalizador. Entonces, ¿qué es un catalizador heterogéneo? pues es un material nanoestructurado, es decir, que sus componentes se encuentran en escala nanométrica. Para mis aplicaciones en catálisis heterogénea, escala nanométrica es entre uno y diez nanómetros. Un catalizador heterogéneo puede ser pequeños cristallitos de un metal noble, por ejemplo, Platino, colocados en la superficie de un Óxido, como el Óxido de Aluminio, Titanio, Silicio, etc.

Ustedes seguramente han escuchado hablar de un catalizador muy famoso, heterogéneo, que tiene que ver con el control de la contaminación ambiental. El convertidor catalítico, que está en los mofles de los coches, se utiliza para purificar los gases de escape. Esos catalizadores están compuestos por Platino, Paladio y Rodio, que son pequeños cristallitos en escala nanométrica, cuya función es transformar los gases de escape, los Óxidos de Nitrógeno pasarlos a Nitrógeno y agua; los hidrocarburos no quemados y la gasolina no quemada, pasarlos a Monóxido de Carbono y agua. Eso es lo que hace un catalizador.

La aplicación más reciente de los catalizadores es la protección al medio ambiente. La catálisis y los catalizadores empiezan a ser muy importantes alrededor de 1940 durante la 2a Guerra Mundial y la necesidad de la obtención de gasolinas para cuestiones bélicas, es lo que impulsa a la catálisis. La aplicación ambiental empieza recientemente, entre comillas, en los años 70's, cuando se utilizan los primeros catalizadores para purificar los gases de escape, estamos hablando de más de treinta años; y esa es la aplicación más reciente. La aplicación industrial de los catalizadores viene desde los años 40's. Los catalizadores son tan importantes en la industria, que, el 90% de los procesos que hay en una refinería, hablando de la industria del petróleo, utiliza un catalizador. En la cuestión ambiental, con esta visión de la nanotecnología, es un arma importante para purificar y mejorar nuestro medio ambiente.

- **¿Dado que México es un país petrolero, la investigación que ustedes hacen, impactaría de alguna forma en esta industria?**

Yo no trabajo en aplicaciones petroquímicas, pero efectivamente, toda la investigación que se hace en procesos petroquímicos asociada a catalizadores es importante. La investigación básica, que es la nanociencia, provee armas para una siguiente etapa de aplicación. Entonces, la parte de investigación básica tiene como objetivo principal generar conocimiento, que son los sistemas nanoestructurados, y la nanotecnología en sí, no es más que la fabricación de materiales, dispositivos, o cualquier otra cosa que sea de utilidad tomando como referencia las propiedades que tiene la materia a nivel nanométrico. La materia en un sentido másico, como lo que vemos aquí, tiene ciertas propiedades; cuando está subdividida a un nivel nanométrico cambian sus propiedades físicas y químicas. La nanociencia provee el conocimiento básico de todas estas propiedades de la materia, para después aplicarlas en un sentido práctico en la nanotecnología; de

tal manera que se puedan construir dispositivos, aprovechar las propiedades ópticas y generar nuevos materiales con aplicaciones bien específicas.

En el ámbito de los catalizadores aplicados al medio ambiente o energía, se tienen las celdas de combustible, que son dispositivos que se prevé tengan un impacto muy fuerte en la nueva forma de energía que podamos obtener, energía limpia. El hidrógeno, por ejemplo, se utiliza en estas celdas. Una celda de combustible utiliza electrodos de Platino; si el Hidrógeno que se utiliza viene contaminado con Monóxido de Carbono, ese Monóxido de Carbono se fija en la superficie de los electrodos de Platino y se reduce la eficiencia de la celda; por lo tanto hay que purificar el Hidrógeno, y eso se logra con catalizadores. Entonces, hay muchos campos donde la catálisis tiene importancia fundamental. La aplicación en petroquímica es de la más tradicional. La foto catálisis tiene que ver con la protección al medio ambiente. Hay muchos grupos de investigación que hacen catálisis dirigida a procesos en petroquímica; que también tienen una derivación en protección al medio ambiente; por ejemplo, en las refinerías se elimina el Azufre de las gasolinas y diesel, para evitar que cuando se quemen emitan a la atmósfera Óxidos de Azufre. Hay muchas aplicaciones en la catálisis y los catalizadores que tienen que ver con cuestiones de impacto. Yo trabajo con catalizadores para eliminación de contaminantes ambientales, fundamentalmente Óxidos de Nitrógeno, gases tipo invernadero, Dióxido de Carbono, Metano, Óxido Nitroso y también catalizadores para purificación de Hidrógeno por eliminación selectiva de Monóxido de Carbono y, aunque no en este momento, también hago aplicaciones con hidrocarburos, pero en este momento enfoco mi trabajo hacia la aplicación de protección al medio ambiente.

- **¿Por qué se interesa más en la catálisis heterogénea que en la homogénea?**

Yo me inicié en catálisis heterogénea. Toda mi carrera la he hecho en esta área, de hecho mi tesis de licenciatura fue en este tema. Ha sido la línea que he escogido, me gusta. Creo que uno se va especializando en un campo, y de esta manera es más fácil aprovechar toda la infraestructura, todos los conocimientos, todos los estudios. Yo podría virar, trabajar ahora en catálisis homogénea, pero sería prácticamente volver a empezar, la metodología, las necesidades de infraestructura son diferentes.

- **¿Hay alguien de quién usted se apoye, que se esté dedicando a la catálisis homogénea?, ¿Con qué otros investigadores tiene relación?**

Mi grupo de investigación está compuesto por técnicos académicos, investigadores visitantes, estudiantes de licenciatura y de postgrado. Tengo colaboración con investigadores de otros Institutos de la UNAM; fundamentalmente con el Centro de Ciencias de la Materia Condensada, que está en Ensenada, también colaboraciones con investigadores de otras instituciones como la Universidad Autónoma Metropolitana, con gente del Centro de Investigación en Materiales Avanzados en Chihuahua y con gente del extranjero. Me relaciono con otros investigadores porque la catálisis heterogénea es un fenómeno químico, pero como el catalizador es un sólido nanoestructurado, la física del estado sólido es muy importante para entender el fenómeno catalítico. Los físicos ven la parte del estado sólido del catalizador, y yo hago la correlación entre la estructura y reactividad. La catálisis es un área interdisciplinaria, es química, ingeniería química, física del estado sólido.

- **¿Quién cree que esté haciendo un trabajo muy fuerte sobre nanociencia en México actualmente?**

La UNAM, aquí en el Instituto de Física, el estudio a escala nanométrica se realiza desde hace muchos años. En el 2001 se planteó el interés de formar una red de grupos de investigación en nanociencia. Eso dio origen a REGINA (Red de Grupos de Investigación en Nanociencia). El interés primario de la red, fue que todos los grupos que estuvieran trabajando en el área de la nanociencia se conocieran, interactuarán más y establecieran colaboración. Esa es la idea de REGINA; además de establecer proyectos comunes de interés para la Red.

Ahora, se ha planteado una REGINA a nivel UNAM; en el subsistema de la investigación científica que agrupa a todos los centros de investigación. Eso es muy importante porque permite ver claramente el impacto que tiene la Universidad en este campo. En muchas otras instancias se hace investigación en esta área, pero la UNAM posee tanto la infraestructura física como humana que le permitiría tener un gran impacto en el tema de la nanociencia y la nanotecnología. Entonces se está buscando conjuntar esa capacidad. La Facultad de Ingeniería, seguramente va a participar de esto, porque como les decía, hay una siguiente etapa, que es la aplicación de los conocimientos básicos para llevarlos a otro nivel. Lo que se está haciendo en NEMS y MEMS tiene que ver con la aplicación de lo que a nivel básico se genera.

- **¿A quién se le ocurrió integrar REGINA a nivel UNAM?**

Fue una iniciativa tanto del Rector, Juan Ramón de la Fuente, como del Coordinador de la Investigación Científica, René Drucker. Esperamos que pronto haya alguna iniciativa que se de a conocer.

- **Aquí en el Instituto de Física, ¿hubo algún investigador, o grupo de investigadores, que motivará a los demás a reunirse?**

Sí. Alicia Oliver fue una de las pioneras, ya que su proyecto, “implantación de nanopartículas por aceleración de iones”, conjuntó a varios investigadores de aquí del Instituto. Ese es el ejemplo más claro de como los participantes de lo que antes no era una red, se pueden conjuntar en un esfuerzo común para entender un problema. Entonces fue ella, el Dr. Ignacio Garzón y la Dra. Cecilia Noguez. Ellos fueron un poco los motores para constituir REGINA IFUNAM, teniendo como objetivo conocer el potencial de cada grupo de investigación y después definir un problema que fuera de interés para todos y en el que cada uno aportará algo desde su punto de vista y sus conocimientos del tema.

- **En el campo de la catálisis, ¿la infraestructura con la que cuenta el Instituto de Física, es basta para el trabajo que se está haciendo?**

La infraestructura que tiene mi grupo es muy buena para el tipo de trabajo que estamos haciendo. Hay infraestructura en el laboratorio de catálisis, pero también hay otra que pertenece al Instituto. Definitivamente, a mí me gustaría tener otro tipo de infraestructura que me permitiría complementar mis investigaciones; pero dadas las circunstancias económicas y de otro tipo que prevalecen en nuestras instituciones y en el país, a veces no es fácil hacerse de toda la infraestructura que uno necesita. Entonces lo que se hace es establecer colaboraciones con otros grupos que tengan la infraestructura. Eso es lo que hago, y eso permite la interacción de los grupos y el aprovechamiento de los recursos. La infraestructura que yo tengo es altamente especializada para la caracterización de los sistemas catalíticos que yo estudio y la complemento con infraestructura del Instituto de Física, que es abierta a todos los grupos, además de infraestructura que tienen otros grupos con los que colabo. Ese es el marco en el que nos movemos prácticamente todos los investigadores experimentales.

- **Respecto al financiamiento que tienen, ¿hay alguna empresa que esté financiando alguno de los proyectos?**

El financiamiento de la investigación que nosotros hacemos viene de dos fuentes: el presupuesto que nos asigna la UNAM, que es muy poco y prácticamente se va a salarios y mantenimiento del Instituto; y el que se destina realmente a financiar proyectos de investigación, que viene de CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) y de la DGAPA (Dirección General de Asuntos del Personal Académico). En el Instituto de Física, aunque hay un cierto tipo de trabajos de investigación que están ligados a industria, la mayor parte de los proyectos son de ciencia básica, y en México, lamentablemente, no hay una cultura de interrelación entre la industria y la investigación. En México no se entiende, como en otros países, la importancia de que las industrias financien la investigación para su beneficio. Todavía no existe en ciencia básica ese tipo de colaboraciones.

- **Con respecto al conocimiento que ustedes generan en la investigación básica, ¿hay alguna institución que esté aprovechando esos conocimientos para generar aplicaciones?**

No en términos de ir a la etapa de aplicación. La Universidad no tiene la infraestructura para ir a esa etapa. El CCADET (Centro de Ciencias de Aplicadas y Desarrollo Tecnológico) está trabajando mucho en ciertas aplicaciones, un poco en catálisis, con ellos también tengo colaboración. Pero no hay, en sí, en ningún lado de la Universidad, esa parte que le permita llegar a la aplicación. Eso es algo que nos hace falta, aunque también habría que preguntarse si esa es la función. Hay ciertas áreas que se prestan para ello, hay otras que no es tan evidente. En Ingeniería se ve claramente; la Facultad de Ingeniería sí tiene mucha relación con la industria, ahí hay una simbiosis muy importante, pero es también por el tipo de trabajo que se hace. Aquí en los Institutos de Investigación la idea es generar conocimiento básico, y después aportar esos conocimientos, hacer un acervo que se pueda conjuntar para una aplicación o ir a otra escala.

- **¿Nos podría mencionar algunas personas que considere, sean muy reconocidas en el medio de la nanociencia?**

Aquí en la Ciudad de México, en el CCADET esta el Dr. Saniger; en el Instituto de Materiales el Dr. Stephen Muhl, y en la Facultad de Ciencias el Dr. Alipio Calles, entre otros.

- **Con respecto a la reunión que hubo en Universum ¿a qué conclusiones se llegó?**

A eso que les comenté: llevar REGINA a nivel UNAM. Ya está en construcción la página de la red. Fue una reunión interesante, porque todas las personas involucradas en nanociencia expusieron de manera general lo que hacían. Otra de las conclusiones fue generar un proyecto UNAM; se tienen tres meses para generarlo. Esa reunión ya dio su primer fruto, que es integrar REGINA-UNAM y la idea es tratar primero de establecer colaboraciones entre los diferentes grupos de nanociencia.

- **¿Hay alguna persona que establezca el contacto directo de cada grupo?**

En el Instituto de Física la persona que quedó encargada es la Dra. Cecilia Noguez. Luego se generó un grupo de trabajo que está integrado por varios investigadores, que somos los encargados de ver hasta donde podemos generar ese proyecto de nanociencia. Entonces, cada una de las dependencias interesadas nombra un representante para integrar esta mesa de trabajo, y así generar a nivel UNAM, un proyecto que permita potenciar a todos los grupos de investigación.

- **¿Tienen programada alguna otra reunión, o reuniones periódicas?**

No, en este momento lo que viene son reuniones cerradas entre los integrantes de la mesa de trabajo. Hay que ponerse de acuerdo, y hay que generar, lo más rápido posible, un consenso sobre algún tema, o sobre el gran tema de donde se deriven posibilidades de investigación.

Seguramente la Facultad de Ingeniería tendrá una parte importante en este contexto, una vez que se delinee los proyectos y los alcances.

- **¿Cómo ve el futuro de la nanociencia y la nanotecnología?**

Empezaré por el mundo. Es el área que impactará en el futuro cercano a todos los campos. ¿Qué tan importante es? Se ve claramente por el grado de financiamiento que los países desarrollados le están dando, esa es una referencia. El campo es tan grande, que incluso ya existen empresas en nanotecnología que cotizan en la bolsa de valores. Y en México podemos contribuir al conocimiento en este campo; podemos aportar cosas importantes; aunque debemos contar con

financiamiento, con inversión en ciencia y tecnología. En mi área de trabajo es muy importante. Es la ciencia y la tecnología del futuro. No hay otra manera de decirlo.

Dr. José Saniger

Director del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, UNAM

- **¿Qué se está haciendo en México en relación a la nanotecnología?**

El nombre genérico, lo que vende, que se utiliza en los periódicos, revistas, a nivel de apoyo de gobierno, es el de nanotecnología, pero si ustedes revisan, un número importante de las publicaciones que se hacen es en nanociencias y siempre en la parte inicial de la publicación, y para dar un panorama de ¿por qué es importante lo que se está investigando? se habla de las aplicaciones, pero en el fondo hay mucho más hechos en nanociencia que en nanotecnología, pero no es privativo de México y es un hecho que se hace más investigación en nanociencia que en nanotecnología, sin embargo la nanotecnología surge como una herramienta; el término nanotecnología lo acuña un ingeniero mecánico japonés, no es ni un físico, ni un químico, ni un biólogo; éste ingeniero, definía como tecnología el conjunto de técnicas que era necesario desarrollar para poder conseguir trabajos de mecánica de precisión con tolerancias menores a la micra, pero años después empezó a haber una serie de herramientas que permitían ver, a nivel físico, superficies más pequeñas, como los microscopios de transmisión, los de tunelaje, y además empezaron a surgir los primeros avances en nanociencia, ya que se vio que en escala nanométrica los materiales cambiaban sus propiedades físicas y mecánicas, antes de eso, si querías cambiar las propiedades de un material debías cambiar las propiedades químicas, y con la nanociencia cambiando el tamaño se pueden cambiar las propiedades.

En mi opinión, la nanotecnología y la nanociencia van bastante juntas. Pero efectivamente se trabaja más en nanociencia que en nanotecnología, pero es en el contexto mundial. Todavía no hay aplicaciones y si las hay son mínimas. En algunas referencias se cita el inicio de la nanotecnología hace 5000 millones de años, cuando la naturaleza empezó a organizarse para hacer entes que tenían la capacidad de autoreplicarse. Eso marca la tendencia de la nanotecnología para hacer estructuras nanométricas a partir de cosas más chiquitas. La autorreplicación la usa la biotecnología. No busca auto replicar a los organismos sino aprovecharlos para producir medicinas y alimentos.

- **¿De qué manera están organizados ustedes?, por ejemplo, el Instituto de Física ya tiene una red organizada, están realizando conferencias...**

Si, yo fui a dar un par de conferencias a la facultad de Ingeniería con el Ing. Arturo Barba, para dar un panorama general de ¿qué es la nanotecnología?, nos estamos organizando, yo estoy también en contacto con la gente de REGINA del Instituto de Física, del Instituto de Investigación en Materiales con el Dr. Raúl Díaz, con dos doctores jóvenes de la FES Cuatitlán que hacen farmacología, que es muy interesante; ellos hacen estructuras nanométricas para tener una liberación controlada de fármacos, que es algo que ya se hace, pero que con estas estructuras nanométricas se puede mejorar. Tenemos contacto también con algunas empresas, aunque no lo crean, están en principio interesadas, algunas son mexicanas, no ha fraguado nada en concreto, pero nuestra idea es hacer nanociencia que haga falta para hacer posible la nanotecnología; finalmente, en el CCADET somos un centro multidisciplinario, tenemos, físicos, biólogos, todas las ramas de la ingeniería. Existe un interés grande, incluso del propio centro en hacer dispositivos instrumentales, y ahí es donde queremos incidir, hay unas propiedades muy interesantes ópticas de los nuevos materiales, por ejemplo, si uno irradia con un haz de luz intenso de un determinado color, genera un haz de un color distinto, y eso tiene aplicaciones en telecomunicaciones, tenemos un grupo trabajando en microondas; es necesario crear sistemas que hagan switcheo en óptica y microondas, crear guías de ondas, algo parecido a la fibra óptica, pero con superficies de vidrio que tengan depósitos que le vayan cambiando los índices de refracción y eso se puede hacer a nivel micrométrico, parecido a lo que se hace con los circuitos integrados. Todo se está haciendo a escala micrométrica y se podría llevar a lo Nano. En mi grupo que trabajo, estamos tratando de hacer materiales, alambres o partículas que se puedan ensamblar en forma de alambres o forma delgada, que tengan las características para servir como guías de onda, algo parecido a los

circuitos integrados, ópticos, actuadores de ultrasonido o fuentes de ultrasonido. La idea es conjuntar todo eso, la capacidad que tiene un laboratorio de hacer materiales nanoestructurados con determinada jerarquía y orden, y las necesidades que tienen otros laboratorios como acústica, óptica, foto física, microondas y micro mecánica. Tenemos un grupo de micro mecánica que está haciendo micromáquinas que sirvan para pasar a las nanomáquinas... y ese sería el paso previo para la nanotecnología. La meta es un dispositivo, estamos haciendo sensores de gases. Podemos hacer nanosensores y distribuir un chip, no sólo una película que haga algo, sino muchas películas distribuidas, cada una con características diferentes para sacar varias fotos, poder sacar esas señales y poder analizarlas.

Queremos implementar un programa de micro y nanotecnología, que sería una etapa previa para una nueva etapa de nanotecnología.

- **Ahora nos gustaría remontarnos un poco a su historia personal, ¿cómo surgió su interés y si hubo alguien que lo motivará?**

Yo vine a México en 1979, previamente había trabajado en bioquímica, nada que ver con esto. Hice aquí mi doctorado de 1986 a 1987 y empecé a trabajar con compuestos cerámicos, nada que ver, pero dentro de esos compuestos cerámicos hubo unos que siempre llamaron mi atención, son las zeolitas, que absorben la humedad y la sueltan cuando el ambiente está seco, que sirven para catálisis. Esos materiales fueron los primeros materiales nanoestructurados que se usaron masivamente aquí en México; de hecho no hay ni un litro de gasolina en el mundo que no haya pasado por una etapa de purificación con esta zeolita. Esta zeolita tiene unos poros que dependiendo del tamaño de las partículas, pasan o no pasan, y esto se usa desde los años 50's. Esto sí es nanotecnología. Las zeolitas quitan Calcio y Magnesio del agua y los intercambian por Sodio y Potasio. Estos materiales eran los primeros que tenían nanoestructuras y subnanoestructuras, muchos de sus poros no llegan ni siquiera a un nanómetro de diámetro. Las zeolitas son materiales con origen volcánico. Pero los que más se usan son los sintéticos, en ese sentido puedo decir que empecé en los años 80s. Había nanoestructuras pero no se había acuñado el término de nanotecnología. No decidí en un lunes "ya me voy a dedicar a nanotecnología" sino que fue poco a poco; con reuniones en congresos, con colegas. Así pues, decidir que trabajaría con materiales nanoestructuras fue por ahí de 1991, fue de manera paulatina. Toda la experiencia que tenía en desarrollo de materiales la pase a materiales nanoestructurados, sin olvidarme de los cerámicos clásicos ni de todos materiales no nanoestructurados que siguen siendo muy importantes.

- **Estoy viendo en el documento que nos prestó que uno de sus objetivos en el Programa, es buscar fuentes de financiamiento. ¿Actualmente quién los financia?**

Tenemos el presupuesto del CCADET, que es lo que nos otorga la UNAM, lo cual nos alcanza para materiales y consumibles. Otro, son los proyectos PAPIIT (Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica), que también son presupuesto de la UNAM, cada dos años un investigador presenta un proyecto, y si hay suerte lo apoyan. Finalmente el presupuesto que nos brinda CONACyT. Todos son fondos públicos. En este momento tenemos tres proyectos, uno de ellos en sensores, con tres investigadores, 5-6 técnicos y alrededor de 10 estudiantes. Tenemos tres proyectos en CONACyT y cuatro en PAPIIT, con eso vamos saliendo adelante, pero sin poder hacer grandes cambios. No podemos quejarnos, cuando no tenemos equipo propio para hacer las cosas, buscamos el apoyo con la gente de la UNAM, y hasta ahora la cosa ahí va. Lo que sí es un problema, es el número de plazas, por ejemplo, tengo una línea de investigación que me financió CONACyT y necesito una persona que se encargue de ella, y la posibilidad de plaza está muy limitada. Ese es el principal cuello de botella. Ahora, los financiamientos no los podemos dejar hasta ahí, estamos buscando la vinculación con algunas empresas; hay empresas del orden de farmacéuticos, otras multinacionales que parecen estar interesadas en desarrollos, no ha fraguado todavía nada, pero sí podríamos esperar que en algunos años se pudiera dar.

Hay otro proyecto en el que me invitaron a participar, proviene de la Universidad de Toronto, ellos están haciendo una especie de consulta a especialistas de nanotecnología; a especialistas del tercer mundo y la pregunta es ¿para qué se puede usar la nanotecnología? Ellos proponen hacer una serie de temas generales. Posteriormente habrá una segunda y una tercer vuelta, después de las cuales se concluirán una serie de tópicos, los diez temas más interesantes para la gente que hace nanotecnología en el tercer mundo, pero no pensando nada más en el conocimiento universal, sino pensando en la solución de problemas. Evidentemente los problemas del tercer mundo son: salud, educación, energía, alimentos... en cualquiera de éstos temas la nanotecnología va a hacer aportaciones, no los va a solucionar, hay una cantidad de gente que se lanzó a hacer una serie de cosas muy aventuradas, incluso le llamaron "nanoísmo", que era una especie de religión de la nanotecnología. Actualmente está la tendencia contraria, empezaron a surgir organizaciones en contra de la nanotecnología, comenzaron a decir que las nanopartículas son súper peligrosas, porque no hay control sobre ellas. Ni lo uno ni lo otro.

Sí podemos hacer por ejemplo sistemas fotovoltaicos más eficientes que sean capaces de absorber la luz y que tengan mayor eficiencia, sí se puede mejorar la salud pública al administrar mejor los medicamentos, lo mismo que hace el riego por goteo, que ha mejorado la eficiencia en los lugares donde no hay agua, también de alguna forma se pueden dosificar los fertilizantes de manera que no se suelten toneladas de fertilizantes en los campos y que luego las aguas los arrastren y se contaminen. Se puede hacer que las pilas de combustible, que son pilas que funcionan al revés de las comunes, se puedan utilizar en casas, hoteles, y no sería necesario transportar la energía hasta las grandes ciudades, porque hay pérdidas hasta del 50%; sino que se generaría en el sitio. El problema aquí está en los materiales, y los materiales nanoestructurados lo pueden resolver. En el problema del ambiente se puede hacer la limpieza de agua y la absorción de gases de Nitrógeno y Azufre; para eso hay una serie de materiales, el más común es el Dióxido de Titanio, que se llaman fotocatalizadores, cuando llega la luz a ellos son capaces de oxidar algunos contaminantes y esos contaminantes son justamente precursores de ozono que pueden ser retirados; esa remoción de materiales se puede hacer de manera más eficiente cuanto mayor luz haya, y justamente cuando más luz haya más oxígeno se forma. Esos mismos materiales fotocatalíticos tienen propiedades antibacteriales, y ya están en el mercado, se están haciendo con ladrillos que tiene incrustados esos materiales y que sirven para hacer muros en hospitales, quirófanos, y por su efecto bactericida tienen un ambiente más limpio. El Dióxido de Silicio en vidrio, se puede colocar para limpiar agua, hay un campo muy atractivo. Lo que hay que hacer es bajar los costos, o buscar otras alternativas. Probablemente como país del tercer mundo, no nos toca hacer materiales más resistentes para las naves espaciales, para eso tendríamos que hacerlo mejor que los que ya lo hacen, como la NASA, y no sería un objetivo muy cercano a nosotros. En el entorno social hay muchas cosas por hacer, por ejemplo, en la UNAM, en la última reunión de la Coordinación Científica se plantearon dos grandes temas, el agua en todos sus sentidos, y el otro tema es la nanotecnología. Parece que hay una tendencia, ojala así sea, en la que tenemos que trabajar juntos y resolver problemas y para eso necesitamos grandes grupos de investigación multidisciplinarios.

- **Hablando en relación a inversiones, ¿cuánto se gasta en nanotecnología?**

En nuestro laboratorio depende de nuestros objetivos, no podemos ir más allá de lo que nuestros recursos nos permitan. Pero yo diría que podrían ser unos \$500,000 al año en nuestro laboratorio, y en todo el CCADET no se llega al millón de pesos. Por supuesto no se compara con las grandes cifras que se manejan en las iniciativas internacionales, como en Corea. También es cierto que no ha habido un intento serio de presentarle nuestro trabajo a CONACyT, y decirles, la nanotecnología sirve para esto... Han existido más intentos por parte de la nanociencia, al parecer no se concretó un intento porque no hubo una respuesta clara del ¿para qué servía la nanociencia? Finalmente, lo que uno tiene que aprender es a buscar los frijoles por sus propios medios; si la Universidad me los da, es lo más cómodo, pero si no me los da, uno tiene que salir a buscar los recursos y eso es algo que no sabemos hacer casi ninguno de nosotros. Empezar a vender la idea y ser capaces de impresionar a la gente. El dinero va a faltar siempre, actualmente hay un problema de dinero para abrir nuevas plazas, porque los que estamos nos vamos haciendo viejos. Y si a un estudiante que

está interesado en el tema se le hace pasar por una especie de vía crucis, te pago poco, te pago tarde y déjame ver si el mes que entra puede que no te de nada, pues eso a una persona que tenga necesidades familiares lo frena. Ahí también hay que ser muy cuidadosos porque a lo mejor un esfuerzo serio, formal e interesante que no está apuntalado con una política de generar nuevos recursos humanos va a terminar muriendo.

- **¿Con qué personas tiene contacto el Dr. Saniger?**

Con el Dr. David Díaz, con investigadores de la Facultad de Química, con el Laboratorio de Nanopartículas, con el profesor Vladimir Basiu del Instituto de Ciencias Nucleares, con muchos investigadores de REGINA, con el Dr. Yakaman, con el Dr. Víctor Castaño del CFATA (Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada), con el CIMAV (Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados) en Chihuahua, con el Dr. David Quintanar, con dos investigadores de la FES Cuatitlán, que están trabajando en fármacos. Actualmente no tenemos una relación establecida con los hermanos Terrones pero no descarto que pueda darse una colaboración.

- **En su opinión, ¿cuál es la Institución que repunta en investigación en nanociencia?**

Hay distintos tipos de indicadores que pueden utilizarse. Si es el número de publicaciones o citas, lo más probable es que los más conocidos sean los hermanos Terrones. Si se atiende al número de investigadores que están trabajando en nanociencia, sería REGINA, que son alrededor de 30. Yo creo que cuando el CCACET ponga en marcha el Programa de micro y nanotecnología, estaremos en un buen lugar. El Dr. Yakaman lleva varios años trabajando en la Universidad de Texas, mientras estuvo aquí, armó un grupo muy fuerte de investigación en materiales, él es uno de los precursores de la nanotecnología en México. Sin embargo, individualmente no hay nadie que repunte a menos que sea en un equipo de trabajo.

- **¿Cómo puede México aprovechar esta tecnología?**

Los famosos nanotubos tienen una resistencia 100 veces mayor que el acero y son seis veces más ligeros. Si uno pudiera armar dispositivos con nanotubos sería espléndido, pero lo que hace falta es un despegue, esto se puede parecer a la biotecnología. Son herramientas que pueden tener paradigmas, que pueden tener un efecto muy importante a mediano y largo plazo, en lo que sería la energía del siglo XXI, pero hay que detectar que puede estar de varias maneras. La manera un poco menos agresiva es saber lo que está pasando, que vendan bienes que estén basados en el desarrollo de nanotecnología que la gente pueda asimilar.

Si la nanotecnología se desarrolla en cinco ó seis años, las compañías ya están pensando en las aplicaciones hoy, por ejemplo, si la vacuna para la diarrea no les resulta atractivamente económica, no la van a desarrollar y ese es el objetivo, desarrollar tecnología que se pueda exportar, colocar a México en un lugar en el mercado, pero que también solucione problemas y eso se hace para todas las tecnologías, no hay que pensar que la Nano nos va a sacar de pobres. No tenemos tecnología básica, el problema es global a nivel nacional, si queremos resolver los problemas del país con una semilla no se va a poder.

Dra. Alicia Oliver

Investigadora del Instituto de Física, UNAM.

- **¿Cómo es que surge la idea de formar REGINA?**

El Instituto de Física realiza investigación en el área de nanociencia desde hace más de una década, entonces, cuando empieza a surgir todo el “boom” de la nanotecnología, un grupo de investigadores, y yo, nos reunimos para tratar de optimizar recursos, compartir conocimiento y trabajar en equipo.

- **¿De dónde obtienen los recursos para realizar su investigación?**

Los recursos provienen del presupuesto federal, el cual no alcanza más que para pagar los salarios de los investigadores, y la otra parte de financiamiento es la que los grupos de investigación consiguen a través de concursos de CONACyT, o los proyectos PAPIIT (Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica).

El gobierno esta muy mal, le falta la visión para darle la importancia que requiere la investigación, y entonces invertir en ella, sin embargo lo que hace es gastarse el dinero en vestir a la primera dama, *“si tan solo nos asignarán el presupuesto de uno de los vestidos que usa Martita”, “porque la señora se gasta millones en su vestuario, mientras que el país se cae”*.

- **¿Cuáles son sus líneas de investigación?**

Actualmente estoy en el grupo de crecimiento de nanopartículas por implantación de iones, de hecho, éste fue el primer proyecto que estableció una colaboración de diversas líneas de investigación, y a partir de ahí se fueron formando más grupos, actualmente somos como once grupos de investigación en el área de nanociencia dentro del Instituto.

- **¿Por qué surge el interés de trabajar en nanociencia?**

Las nanopartículas naturales han existido desde siempre, al menos en forma natural, por otra parte los avances tecnológicos nos han obligado a meternos en la nanotecnología, porque sí se fijan, la tendencia tecnológica es hacia la miniaturización, entonces para crear esos dispositivos tan pequeños, es necesario contar con máquinas mucho más pequeñas, hasta el punto que en la escala macro resulte imposible fabricarlas, por lo que tenemos que empezar a explorar en el mundo atómico y eso es lo que tiene que ver con la escala nanométrica. Por otro lado, tener la posibilidad de manipular las cosas a nivel atómico nos brinda un amplio espectro de propiedades, ya que cada forma o tamaño de una nanopartícula significa una propiedad diferente.

- **¿Cuál es el equipo con el cuentan para su investigaciones?**

Tenemos laboratorios de síntesis y caracterización de nanopartículas, microscopios, un laboratorio de óptica, y un aparato llamado Pelletron, el cual es un logro muy importante, ya que implicó una labor muy fuerte para lograr que se comprará, pero afortunadamente ya contamos con el.

Dra. Cecilia Noguez

Investigadora del Instituto de Física, UNAM

- **¿De dónde nace la inquietud de investigar en el área de la nanociencia?**

Desde hace mucho tiempo se sabe que existen las nanopartículas, de hecho, en el medio ambiente las podemos encontrar, un ejemplo de esto son las partículas que conforman el humo, otro ejemplo son los vitrales que fabricaban los artesanos en los siglos XII y XIII, los cuales estaban hechos a base de nanopartículas y dependiendo del tipo de nanopartícula, era el color que tomaba el vitral.

Actualmente se sabe que las propiedades a la escala nanométrica se comportan de manera diferente a lo que es nuestro mundo macroscópico. En nuestro mundo macroscópico, si partimos una mesa, o le cambiamos la forma, ésta siempre va seguir teniendo las mismas propiedades, en cambio, si a una nanopartícula se le somete a esta serie de cambios, le cambian totalmente las propiedades. Estos cambios se dan porque en nuestro mundo la superficie no juega un papel muy importante, en cambio en la escala nano, lo que gobierna es precisamente la superficie, y no lo que está adentro, un ejemplo claro de esto son los nanotubos, los cuales están totalmente vacíos por dentro, pero todas sus propiedades se encuentran en la superficie. Entonces estos conceptos aunados a los avances tecnológicos y de la misma ciencia, van haciendo posible la manipulación de la materia a esta escala, y esto es lo que crea un “Boom”, porque ahora no sólo la materia se comporta diferente, sino que ahora se puede tener cierto control sobre ella, utilizando técnicas más precisas, más confiables, que hace 30 años no se tenían. Por todo lo anterior, resulta muy importante para los investigadores poder fabricar o sintetizar partículas muy bien controladas con un mismo tamaño y con una misma forma para poder después aplicarlas.

- **¿Cómo es que surge REGINA UNAM?**

Les voy a platicar un poco los antecedentes a esto, en 1986 se descubren los fulerenos, posteriormente en 1991 descubren los nanotubos, y es a partir de ese momento que la gente empieza a ver que hay otras propiedades, los nanotubos por ejemplo, son muy maleables, pero son muy fuertes. Son como capitas de grafito que se pueden enrollar de diferente forma, llegando a ser materiales aislantes, si se enrollan de cierta manera ó conductores, si se enrollan de otra. Entonces es un sistema en donde se generan miles y miles de propiedades.

Siguiendo un poco con los antecedentes, en 1996 le dan el premio nobel a las personas que descubren los fulerenos, y es a partir de este momento que se empieza a hablar más de nanociencia y del impacto que puede tener.

Los primeros en reconocer el potencial de ésta área fueron los países avanzados, al poco tiempo empiezan a planear iniciativas, y para el año 2000, países como Estados Unidos, Japón, Inglaterra, la Comunidad Europea, etc. lanzan iniciativas para investigar nanotecnología, sumando una inversión de alrededor de mil millones de dólares en total, con esto empiezan a crear instituciones de apoyo para establecer vínculos entre la sociedad, la industria, la ciencia, los tecnólogos; y empiezan a trabajar muy duro. Hoy en día la inversión de Estados Unidos, ya rebasa por sí sola el monto de los mil millones de dólares.

Todo este revuelo crea un impacto muy fuerte para la gente que hacíamos nanociencia en los países en donde no hay iniciativas, obviamente la competencia aumentó, pero nosotros simplemente no tenemos el apoyo que tienen ellos. Pensando en todo esto, decidimos reunirnos algunos investigadores del Instituto de Física para pensar ¿cómo podíamos afrontar ésta situación?, de esta reunión se concluye que lo mejor era unirnos para colaborar, para compartir recursos, compartir laboratorios, equipo de todo tipo; humano, técnico, etc. y así poder al menos ser algo competitivos.

Es así como en el año 2000, el Dr. Ignacio Garzón, la Dra. Alicia Oliver y yo, creamos una red de grupos de investigación en nanociencia como mecanismo de acción para reunir a la gente, compartir recursos, y es lo que hoy es REGINA, una red conformada por nodos que se pueden conectar a través de colaboraciones, compartir equipo, recursos, y por otro lado ninguno sobresale sobre otro.

Para lograr ésta colaboración se organizaron ciclos de conferencias, en donde la gente pudiera conocerse e identificará que puntos de interés en común tenían y así crear proyectos, y de ésta manera optimizar recursos. Poco a poco se fueron dando las cosas, empezamos sólo en el Instituto de Física, después la invitación a estas conferencias se extendió a toda la UNAM, hasta que el 2003, se volvió REGINA UNAM.

Evidentemente participa quien quiere, la idea es no forzar a nadie, ni imponer un proyecto en específico, sino que los investigadores identifiquen un interés en común con “fulano o zutano”, entonces se reúnan y saquen adelante ese interés. Desafortunadamente no se cuenta con ningún apoyo económico.

- **El año pasado (2005), se publicó la noticia de que el rector de la UNAM, iba a apoyar el desarrollo de cinco proyectos de investigación multi e interdisciplinarios, en donde se contemplaba a la nanotecnología, ¿REGINA está participando en esto?**

REGINA como tal no participa, ese proyecto es específico en el área de catálisis y está a cargo del Dr. Alipio Calles, obviamente algunos investigadores del Instituto colaboran en el proyecto, y ciertamente cuentan con el apoyo de rectoría. Sin embargo se trata de un proyecto independiente de REGINA.

- **¿Por qué si REGINA es una RED UNAM, no se cuenta con un proyecto de colaboración, que los represente a nivel nacional o internacional?**

Inicialmente sí surgió la inquietud de hacer un proyecto común, sin embargo, la idea de REGINA es que todos seamos equivalentes, y que sí se decide trabajar con alguien, es porque ese alguien va a aportar algo bueno, y no porque sea el que acaparó los recursos.

Pese a todo la red funciona, han surgido algunos proyectos de colaboración, se creó un laboratorio de óptica con los recursos de diferentes grupos, aunque obviamente el avance es lento por no contar con más apoyo, pero ahí vamos, estamos trabajando y sin que nadie sobresalga más que otro.

- **¿Cuáles son las dependencias que colaboran con REGINA?**

Esto no es algo institucional, esto funciona con o sin los directores, la idea es que los investigadores, que es la gente que hace el trabajo, participe y hay por ejemplo gente del Centro de Investigaciones en Energía, Centro de Ciencias Físicas de la Materia Condensada, Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Facultad de Química; son los que de momento se me vienen a la mente.

Adicionalmente hemos invitado a gente de Biología, sin embargo se resisten, también gente de Ingeniería pero ellos están muy concentrados en su programa de MEMS.

- **Sabemos del gran esfuerzo que esta realizando REGINA para desarrollar nanociencia, sin embargo también sabemos que hay otras instituciones, por ejemplo IPICyT (Instituto Potosino de Investigación en Ciencia y Tecnología. El cual incluso ha tratado de lanzar una iniciativa nacional, ¿ustedes como grupo estarían dispuestos a colaborar con otras instituciones externas a la UNAM?**

Sí claro, de hecho todos los años hemos asistido a sus reuniones, el problema es que en el caso específico del IPICyT, han tratado de lanzar una iniciativa de gobierno a través de CONACyT, en la que se destine una cierta cantidad de dinero a lo que es nanociencia y nanotecnología. Sin embargo todos los años la UNAM participa, ayuda en la elaboración del documento, y ningún año pasa nada, CONACyT nunca ha aportado, por ejemplo, el año pasado estuvo la Academia de Ciencia de Estados Unidos, y lo único que hizo la gente es quejarse de que no hay apoyo, no hay dinero, y quejarse y quejarse. Entonces lo que debemos hacer es aceptar la realidad, en la que no hay apoyo y punto.

- **¿Cuál considera usted que es el estado actual de la nanotecnología, tanto en un panorama mundial como nacional?**

A nivel mundial ya se empiezan a ver las primeras aplicaciones, sobre todo en el área de la salud, por ejemplo, como las nanopartículas son tan pequeñas han servido para observar el flujo de sangre de lugares tan pequeños como el oído. También se han desarrollado terapias y técnicas de detección de cáncer a partir de nanopartículas. Se han almacenado medicamentos en nanotubos, y se han funcionalizado nanopartículas con moléculas que reconozcan algún tipo de células o de cuerpos para que lleguen y se peguen.

En cuanto al panorama nacional, nos hace falta aplicarnos en el tema de salud, ya que hay muy poca investigación en esta área, en cuanto a temas de caracterización y sistemas coloidales considero que no estamos tan mal, sin embargo sigue siendo muy poca la investigación, y eso también es atribuido a que somos muy pocos los investigadores dedicados a ésta área comparados con otros países.

- **¿Alrededor de cuántos investigadores están participando con ustedes en el área de nanociencia?**

Las cifras son muy engañosas, hay gente que ve algo y se inscribe, lo que nos ha llevado a censar alrededor de unos 90 investigadores a nivel UNAM, sin embargo yo pienso que investigadores que realmente estén haciendo nanociencia son menos de 70, y alrededor de otros 40 ó 50 investigadores más alrededor del país.

- **Previendo esta escasez de recursos humanos en el área, ¿Se ha pensado en la creación de una carrera, maestría, doctorado, o alguna especialidad que permita ir formando esos perfiles?**

Sí desde luego, de hecho el año pasado algunos investigadores del Instituto fuimos invitados a colaborar en la elaboración de un plan de estudios para nanotecnología en una Universidad que ha de estar por abrir sus puertas en Michoacán. Es una Universidad contemplada para éste nuevo ciclo, en donde no se ofrecen carreras tradicionales, sólo áreas como la biotecnología, la nanotecnología, etc. Y a nivel UNAM, supongo pronto se hará algo similar.

- **Sabemos que los recursos son escasos y que el apoyo es mínimo, ¿en algún momento se ha pensado en obtener recursos del sector industrial?**

Esa es una situación muy difícil, por ejemplo, nosotros como físicos hacemos más ciencia básica, porque esa es nuestra función, y la de los ingenieros debiera ser la de establecer ese vínculo, sin embargo siento que es una área que están descuidando los ingenieros.

Por otra parte, el sistema bajo el que opera la UNAM no es el idóneo para que se de éste vínculo. En ocasiones, sí llega a haber invitación por parte de las empresas para colaborar con ellos, sin embargo esto es muy difícil, por la cuestión de la confidencialidad, ya que eso implica que el investigador no puede publicar sus resultados, y sí un investigador no publica se queda fuera de la Sociedad Nacional de Investigadores, fuera de los estímulos de la UNAM, etc. Lo cual se traduce en que el investigador se quede con 1/3 de su salario, y por otra parte la empresa no puede pagar

esas dos terceras partes que perdería, por que sí ese fuera el caso, a lo mejor los investigadores podríamos optar por trabajar un tiempo para hacer investigación para las empresas.

- **¿Es decir, que sí la UNAM le realiza una investigación a la empresa, ésta no le retribuye, no hay un pago, por llamarlo de alguna manera?**

Se le puede pedir algo de equipo, o cosas por el estilo, ya que la UNAM no esta conformada para ese tipo de actividad. Es más, un investigador no le puede dar asesoría a una empresa por más de diez horas a la semana. Entonces, eso nos tiene atados un poco de manos.

Además de que en México las empresas no están acostumbradas a realizar investigación, ellos están acostumbrados a comprar la tecnología y no a generarla.

- **Desde su perspectiva, ¿Qué necesita México para poder tener una iniciativa nacional de nanotecnología?**

Mucho apoyo del gobierno, de CONACyT, se necesita dinero, y a partir de esto empezar a trabajar en red, establecer una red de empresarios en donde se identifiquen sus necesidades, una red de tecnólogos y una red de ciencia básica, que se junten las tres y haya mucho intercambio de información.

Desde mi punto de vista se necesita reforzar mucho la parte de la tecnología, porque pienso que a nivel ciencia básica estamos bien, pero falta esa parte para hacer tecnología real, y no comprar aparatos caros como luego se llega a confundir, lo que se pretende es desarrollar tecnología propia y así juntarnos y poder incidir en la sociedad.

- **¿Existe algún riesgo nocivo en el desarrollo de la nanotecnología?**

Por supuesto que todo mal uso puede causar daño, pero eso no es inherente a la nanotecnología, más bien lo es al ser humano, que dándole un mal uso a cualquier otra cosa aunque no sea nanotecnología, puede causar daños.

- **¿Por último, cuál cree usted que serían las consecuencias de no invertir en nanotecnología?**

Quedarnos cada vez más atrás, entre menos desarrollo tengamos, menos productos vamos a tener que exportar, ya no podemos seguir siendo sólo exportadores de materia prima de petróleo, tenemos que empezar a desarrollar nuestra propia tecnología, romper con esa dependencia, y si no nos subimos a éste tren de la nanotecnología, pues nos va a dejar, lo que se traduce en mayor pobreza.

Dr. Stephen Muhl Saunders.

Investigador del Instituto de Investigación en Materiales, UNAM

- **Sabemos que usted es parte del proyecto universitario de nanotecnología, ¿podría hablarnos un poco acerca de este proyecto?**

Es un proyecto de nanocatalizadores aplicados para el mejoramiento del medio ambiente. En este proyecto colaboran más de 30 investigadores de diferentes entidades universitarias, como son: Facultad de Ciencias (FC), Instituto de Física (IF), Instituto de Ingeniería (II), Instituto de Investigación en Materiales (IIM), Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA), Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), Centro de Investigación en Energía (CIE) y Centro de Ciencias de la Materia Condensada (CCMC). Este proyecto aún no arranca del todo, nos falta el equipo necesario para arrancar con la producción de los nanocatalizadores, ha habido mucha investigación detrás, pero de momento no hemos avanzado mucho, estamos en espera del equipo.

Con este proyecto se intenta cambiar la forma de hacer investigación en la UNAM y promover la realización de trabajos multidisciplinarios de alta calidad y en áreas prioritarias para el país

- **¿Cómo fue que se dieron las condiciones para este proyecto?**

En realidad no se empezó de la nada, el proyecto esta formado de grupos de investigación que ya tienen mucho tiempo investigando en el área, hay algo de equipo, de hecho no se ha arrancado totalmente por que estamos en espera de que nos llegue un equipo. Como les comento, no iniciamos de la nada, se buscaron a los mejores grupos de investigación en nanocatálisis, grupos que llevan muchos años investigando en el área

- **¿Cómo sería la aplicación de estos nanocatalizadores?**

Se esta pensando en una pintura para las calles, la cual pueda catalizar reacciones de los gases contaminantes, otra aplicación sería en los calentadores domésticos e industriales, que usando el nanocatalizador eviten la emisión de monóxido de carbono. Finalmente una tercera aplicación, que resulta las más ambiciosa, es la de aplicar nanocatalizadores en los automóviles, que son la principal fuente de contaminación. Actualmente la función del catalizador empieza cuando éste está caliente, inicialmente se encuentra frío, entonces los dos o tres minutos que se tarde en calentar, dependiendo del carro que se trate, estará emitiendo gases al ambiente sin ser tratados, entonces el uso de estos nanocatalizadores sería la solución a este problema. Sin embargo como les comente, es una aplicación ambiciosa, ya que requiere del apoyo de la industria automotriz, del gobierno, etc.

- **Previendo la necesidad de la participación de la Industria, en este caso automotriz, ¿se ha empezado en establecer algún vínculo?**

Aún no, para convencer a la industria se necesita llegar con resultados, los empresarios sólo quieren saber ¿cuánto van a ganar? Entonces lo que se pretende hacer es realizar el proyecto, y después ya con el producto en mano, poder ofrecerlo y hacer las negociaciones correspondientes.

- **En su opinión, ¿cuál es la situación de la nanotecnología en México?**

Es un área que está despertando mucho interés, desafortunadamente como siempre, falta apoyo, falta dinero. Además creo que para nanotecnología todavía nos falta, México está investigando en nanociencia de una manera aislada, la investigación de un área de la nanociencia no tiene nada que ver con otra. Para hablar de nanotecnología se tienen que buscar aplicaciones, y esto es algo de lo que se trata el proyecto de nanocatalizadores, hacer investigación para un nicho específico y con sus respectivas aplicaciones, y en este punto la ingeniería debe colaborar mucho.

- **Desde su perspectiva, ¿Qué es lo que le hace falta a México para contar con una iniciativa nacional de nanotecnología?**

Primero que nada apoyo, además de esto, existe otro problema muy grande, y es de comunicación, en México no se sabe ¿quién esta haciendo qué? Si uno va por ejemplo a CONACyT, no saben, ¿quiénes están trabajando en catálisis?, ¿quiénes en síntesis?, ¿quiénes en tal o cual cosa?, no lo saben. Eso es por el lado de la investigación, pero por el lado de la industria, no se sabe, ¿qué empresas están interesadas en la tecnología?, ¿que empresas pudieran estar interesadas en tal o cual investigación?, entonces esto provoca un abismo muy grande entre la investigación y la industria.

Para que esto funcione, primero debemos saber, ¿quién esta haciendo que cosa?, identificarlos, saber ¿con qué equipo lo están haciendo?, ¿para qué lo están haciendo? y sobre todo, ¿quién podría usarlo?, con esto podríamos avanzar mucho.

Dr. Ignacio Garzón

Investigador del Instituto de Física, UNAM

- **¿Cuáles han sido los avances que ha tenido REGINA UNAM del 2004-2006?**

Ya se cuenta con un sitio oficial de REGINA UNAM (www.nano.unam.mx), en donde se puede encontrar información acerca de las líneas de investigación, los investigadores que colaboran, así como las publicaciones que han realizado. Esta página cuenta con una versión en inglés, ya que nos hemos dado cuenta que la página es consultada desde varias partes del mundo. Además desde el año pasado (2005), REGINA, se volvió socio de Nanoforum, el cual es un sitio creado por la comisión europea para difundir la nanotecnología, en este sitio se puede encontrar información acerca de investigaciones en nanociencia y nanotecnología, organizaciones y los eventos más recientes en el área, y ahora también información de REGINA.

Seguimos trabajando en los ciclos de conferencias para presentar nuestros avances de investigación, de hecho estamos por iniciar el ciclo de primavera 2006.

- **¿Qué sigue para REGINA?**

Seguir trabajando en ciencia básica, pero también tratar de llevar ese conocimiento a nivel de una aplicación. De hecho un objetivo de REGINA a largo plazo, es poder crear una red similar, pero de industriales, en donde se realicen ciclos de conferencias y presenten sus necesidades, y a su vez los investigadores puedan presentar sus resultados y ser aprovechados como negocio.

- **¿REGINA participa dentro del Proyecto Universitario de Nanotecnología?**

Si, en una parte, y en mi caso particular, tengo un proyecto de nanocatálisis para la industria farmacéutica apoyado por CONACyT, el cual más adelante propondré ante el comité del proyecto para ver si se puede incorporar.

Aunque la desventaja de ese tipo de proyectos es que el avance es más lento, aunque sus resultados son más extensos, en cambio en la investigación de grupos reducidos, se puede avanzar más rápido, aunque el resultado impacte sólo en una pequeña área.

- **¿Cómo percibe actualmente la situación de la nanotecnología en México?**

El avance es lento, los industriales aún no se han interesado en el área, la mayoría de las empresas están enfocadas en el área de servicios, y las empresas que podrían desarrollar nanotecnología como CEMEX, prefieren importar tecnología.

- **¿Qué tendría que hacer México para impulsar la nanotecnología?**

Seguir trabajando y tratar de convencer a las autoridades de que nos apoyen, sin embargo este es un año difícil por el cambio de gobierno, ya ninguna dependencia quiere hacer nada por que van de salida. Así que ahora tendremos que esperar a que la nueva administración se establezca y volver a comenzar a tratar de convencerlos de su apoyo.

**“Dr. Víctor Castaño Meneses
Director del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, UNAM**

- **¿Cuáles son sus líneas de investigación?**

Recubrimientos nanotecnológicos
Termodinámica de sistemas pequeños

- **¿Desde cuándo investiga en el área de nanociencia y/o nanotecnología?**

Hace 10 años aproximadamente

- **¿Cuántas publicaciones ha realizado en el área de la nanociencia y la nanotecnología?**

Alrededor de 90

- **Dentro de este Instituto, ¿Cuál es el número de investigadores que realizan investigación en el área de nanociencia y nanotecnología?**

Como 8 investigadores

- **¿De dónde obtienen los recursos para realizar sus investigaciones en nanociencia y nanotecnología?**

De presupuesto de la Universidad y de proyectos con industria

- **Desde su perspectiva, ¿cuál es la situación de la nanotecnología en México?**

Esfuerzos dispersos y calidad variable

- **¿Por qué México debe invertir en el desarrollo de nanociencia y nanotecnología**

Es una oportunidad histórica para estar en el liderazgo internacional

- **¿Qué le hace falta a México para lograr un Plan de Nanotecnología a nivel nacional?**

Voluntad política y un frente común de los expertos”.¹

¹ Entrevista realizada vía correo electrónico.

Silvia Ribeiro

Representante en México y Latino América del grupo ETC

- **¿Cuál es la posición de ETC frente al desarrollo de nanotecnología?**

Nuestra posición es que debería haber una moratoria total en el tema de la nanotecnología, sin embargo hay varios puntos que nos interesan como son: la toxicidad, el daño al ambiente, las patentes, el impacto en los países exportadores de materia prima y la falta de control.

Han surgido varios estudios que demuestran que no hay una evaluación sobre el impacto que causan las nanopartículas en la salud y en el ambiente, y sin embargo actualmente en el mercado ya existen alrededor de 720 productos entre cremas, lavadoras, ropa, recubrimientos, barnices, protectores solares, etc.

Hace poco se publicó un informe de la Secretaría de Salud Laboral en Estados Unidos y en Europa, y ambos estudios coinciden en que existe un peligro laboral, ya que las nanopartículas son tan finitas que se pueden inhalar, penetrar la piel, y causar daño. Por ejemplo, la NASA realizó un estudio en el que se demostró que la inhalación de nanopartículas puede provocar inflamación en los tejidos, reacciones alérgicas, pero además en la acumulación llegar a provocar cáncer.

En otro experimento hecho por la Asociación Americana de Químicos, hacen una disolución con fulerenos en un estanque con peces, que sería el equivalente a un efluente de una fábrica después de trabajar con fulerenos, y donde posteriormente exista un efluente hacia el medio ambiente, y en tan solo 48 horas, la mayoría de los peces tenían daño cerebral.

En otro experimento, se inyectaron nanotubos a unos ratones, en una proporción de lo que sería 17 días de exposición de un trabajador en una fábrica, laboratorio, o lo que sea, y el resultado es daño pulmonar, y en algunos otros, coágulos en la sangre.

Entonces eso es muy grave, porque se está haciendo una especie de emisión masiva de nanopartículas, que nunca habían estado en el ambiente, y que pueden provocar efectos en la salud y en el ambiente totalmente desconocidos, y no hay ninguna regulación en el mundo. El proceso regulatorio que se está encarando en Estados Unidos les va a llevar muchos años, ya que regular algo nuevo con efectos y consecuencias desconocidas llevará tiempo, y mientras tanto hay un empuje tremendo para que los productos salgan sin control.

Esto las empresas lo saben, por ejemplo, L'oreal sacó una crema con nanosomas para las arrugas, y ellos saben que desde 1997, la Universidad de Montreal realizó un estudio en el que se demostró que efectivamente los nanosomas ayudan al control del envejecimiento, pero al tener contacto con la piel generan radicales libres, y los radicales libres lo que hacen es acelerar el envejecimiento y llegar a causar tumores en la piel. Entonces L'oreal dice, yo le voy a poner otra sustancia a los nanosomas y además un antioxidante, y realidad ¿quién sabe si funciona? y ¿quién sabe si lo haga?, porque nadie lo puede obligar.

Por otro lado está el impacto que causará en los países que son exportadores de materia prima, sobre todo en los países del sur. Nosotros hicimos estudios sobre el algodón, el caucho, el platino y el cobre; en los países que son exportadores de estas materias primas, y el escenario es muy oscuro, en el sentido en el que va a ver una sustitución muy rápida de materia prima, lo que va a provocar que un montón de gente se quede sin trabajo.

Para continuar está el tema de las patentes, nosotros tenemos un documento que se llama "*patentes más allá de la naturaleza*", y eso es un tema muy serio, ya que aún cuando se superara el problema del impacto de la salud y del ambiente, las patentes en el área de nanotecnología tienen una cobertura enorme como nunca antes. Por ejemplo, hay patentes que cubren

combinaciones de óxidos, y combinaciones con hasta 33 elementos de la tabla periódica, y eso es una sola patente, otra por ejemplo, es una patente para recristalización con aplicaciones en la industria farmacéutica, alimenticia, electrónica, en la industria de los catalíticos, los polímetros, los plaguicidas, explosivos, barnices y pinturas. Entonces te estoy hablando de que hay por lo menos 10 patentes que tienen amarrado el mercado. Y es lógico, después de las grandes inversiones que están realizando no van a dejar que nadie les compita.

- **Entonces, ¿cuál debería ser la postura de países como México ante esta tecnología, que esta siendo impulsada de una manera muy fuerte, y que pese a todo, pareciera imparable?**

Nosotros estamos a favor de la moratoria a nivel mundial, porque sí no, vamos a terminar siendo como siempre los conejillos de india.

Meterse a competir en esa carrera esta muy difícil, en primer lugar por la condicionantes de las patentes, que ya te mencionaba, y por otro, México no cuenta con los recursos para invertir las grandes cantidades como lo están haciendo esas potencias.

Otro punto importante, es que la mayoría de la investigación vinculada con las empresas, se está haciendo con empresas transnacionales, y entonces viene la pregunta, ¿México está desarrollando nanotecnología?, o las empresas transnacionales se están valiendo de los investigadores mexicanos para sacar un beneficio del cual ni se va a enterar México, ¿habría que ver?

Entonces yo pienso que no tiene mucho sentido ponerse a competir con tecnologías que aparte de no ser muy seguras, requieren de capitales enormes que México no tiene, o en vez de eso, valdría la pena invertir en tecnologías locales que cubran las necesidades de la mayoría de la población.

Porque haciendo una reflexión, es que ¿en verdad México necesita nanotecnología? Si nos ponemos a ver cuales son los principales problemas de México, podríamos mencionar: más de la mitad de la población vive en extrema pobreza, el desempleo, por citar algunos. Luego entonces nos tenemos que cuestionar, ¿será que la nanotecnología resuelva el tema del empleo?, o es que al ser una tecnología tan sofisticada, y con un grado muy alto de automatización, lo que hace es eliminar trabajo, y entonces incrementar el desempleo, al menos ésta es una de las conclusiones preliminares a las que se llegó con el estudio que realizamos, denominado: *“la sustitución de materias primas en los países exportadores”*.

Por otro lado, la población de pobreza extrema, ¿será que se va a beneficiar con el desarrollo de la nanotecnología?, yo diría que no, y por muchos, muchos años, no.

Entonces, desde mi punto de vista, sería más interesante que México desarrolle una tecnología que estuviera en sus manos, que no tuviera que depender de patentes y que además tuviera que ver las necesidades de la mayoría de la población. Por ejemplo, la producción de maíz, el maíz podría establecer una colaboración enorme entre campesinos e instituciones, en el que se logre un incremento de la producción, y con eso por lo menos se beneficia al 25% de la población que son rurales, y además permitiría el regreso de algunos emigrantes.

Entonces es muy importante reflexionar si México en verdad necesita nanotecnología, o ¿es sólo por que vemos que los de a lado lo están haciendo?, ¿por es lo de hoy? o ¿por qué?

Además, ¿será que México está preparado para desarrollar esa tecnología?, o tiene que resolver otros asuntos antes, porque se ha demostrado históricamente que en cualquier sociedad injusta, donde existe una marcada diferencia entre pobres y ricos, con la introducción de una nueva tecnología, se aumenta la diferencia.

Bibliografía

Sul Kasscieh, "Building Technology Clusters: Lessons from New Mexico", Primera Reunión de MEMs en México, Jalisco, septiembre de 2003.

Sul Kasscieh, "Role of Business Schools in MEMS Commercialization", Primera Reunión de MEMs en México, Jalisco, septiembre de 2003.

Andres C. Salazar, "Role of Universities to Train Specialists in MEMS, Design, Characterization and Testing Programs", Primera Reunión de MEMs en México, Jalisco, septiembre de 2003.

M.C. Roco, "National Nanotechnology Investment in the FY 2006 Budget Request", Estados Unidos, 2005.

Lux Research, "The Nanotech Report 2004", Estados Unidos, 2004.

National Sciences Foundation, "Societal Implications of Nanosciences and Nanotechnology", Estados Unidos, 2001.

Neil Gordon, Canadian Nanobusiness Alliance, "Job Opportunities in Nanotechnology", University of Waterloo, Canadá, Marzo de 2003.

Foro Consultivo científico y Tecnológico, "Inversión para Impulsar la Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico en México", Septiembre de 2004.

Eric Drexler, "Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology", Anchor Books editions, Estados Unidos, 1986.

Ana. L. Martínez, Carlos Velasco. "Fulerenos y Nanotubos de Carbono", Ciencia Hoy, México, noviembre de 2003.

Investigación y Desarrollo, "El Fantástico Mundo de los Nanotubos", México, junio de 2003.

Heinrich Rohrer, "La tecnología desarrollada a nivel molecular y atómico permitirá emular el funcionamiento del cerebro". España, octubre de 1997.

J. A. Martín Gago, "La Microscopía para el Estudio de Materiales y Láminas Delgadas".

Juan de la Figuera, "Adaptación de Gxsm: aplicación del software libre para Microscopía Túnel (STM)", España, septiembre de 2003.

Miguel Cupich Rodríguez, Fernando Elizondo Garza. "Actuadores Piezoeléctricos", Ingenierías, México, enero de 2000.

Manuel Ricardo Ibarra, José Ignacio Arnaudas. "Técnicas para dibujar en escala nanométrica", España, 2004.

Grupo de Tecnologías de Computadores. "Tecnología de Fabricación de Semiconductores", Universidad Politécnica de Madrid, 2003.

José V. Anguita, "Tecnología de Procesos y Litografía Electrónica", España, 2004.

José Ignacio Pascual, "STM: Scanning Tunneling Microscope, una herramienta para manipular átomos y moléculas", España, 2004.

Alberto Bonfiglioli, Eduardo A. Mari, "Nanotecnologías y Materiales", Revista Cerámica y Cristal, Argentina, Diciembre de 2002.

Mark Durcan, "The Current Nanotechnology Situation in the World", Estados Unidos, Octubre de 2003.

National Science Foundation, "Societal Implications of Nanosciences and Nanotechnology", Estados Unidos, septiembre de 2000.

National Sciences Foundation, "Nanotechnology: Societal Implications - Maximing Benefits for Humanity", Estados Unidos, 2005.

Erosion, Technology and Concentration Group, "Las Aguas Turbulentas de la Nanotecnología", México, Abril 2004.

Foresight Guidelines on Molecular Nanotechnology Version 4.0", Estados Unidos, Octubre de 2004.

C. A. Balseiro, Gonzalo Usaj, "Transporte Electrónico en Sistemas Nanoscópicos", Argentina, 2005.

Alejandro Fainstein, Karen Hallberg, "Confinamiento Cuántico en Sistemas Nanoscópicos", Argentina, 2005.

InterAcademic Council, "Capacidades Científicas y Tecnológicas Sólidas, una Necesidad de Todos los Países", Estados Unidos, Febrero de 2004.

Michael E. Porter, Scott Stern, "National Innovative Capacity", Estados Unidos, 2002.

Michael E. Porter, "National Innovative Capacity Index 2003", Estados Unidos, 2004.

Michael E. Porter, Jeffrey L. Furman, Scott Stern, "Los factores Impulsores de la Capacidad Innovadora Nacional: Implicaciones para España y América Latina", Estados Unidos, 2004.

Joshua Gans, Richard Hayes, "Assessing Australia's Innovative Capacity: 2004 Update", Australia, octubre de 2004.

National Sciences and Technology Council, "National Nanotechnology Initiative. The Initiative and Its Implementation Plan", Estados Unidos, 2000.

National Research Council of Canada, "A Vision for Nanotechnology in Canada", Canadá, enero de 2001.

National Sciences and Technology Council, "National Nanotechnology Initiative – Strategic Plan", estados Unidos, diciembre de 2004.

National Sciences and Technology Council, National Nanotechnology Initiative – Supplements to the President's 2006 Budget", Estados Unidos, marzo de 2005.

Nanospain. Red Española de Nanotecnología. "Informe sobre la situación de la nanociencia y la nanotecnología en España. Propuesta de acción estratégica dentro del plan nacional de I+D+I, 2004-2007" Madrid, España, 2004.

ETC Group. "La invasión invisible del campo: el impacto de las tecnologías nanoscópicas en la alimentación y la agricultura". México, noviembre de 2004.

Pierre Collerete. *La planificación del cambio. Estrategias de adaptación para las organizaciones*, Ed. Trillas, México, 1988.

Camp, Robert, *Benchmarking, the search for industry best practices that lead to superior performance*, Milwaukee: Asqc quality; new york, 1989.

Ogliastri, *Manual de planeación estratégica*, Ed. tercer mundo editores, Bogota, Colombia, 1989.

Fred R. David, *Conceptos de administración estratégica*, Editorial Pearson Educación, 2003.

Ochoa Rosso Felipe, *Método de los sistemas*, Facultad de Ingeniería. México, 1997.

Mihail C. Roco et al "Longitudinal Patent Analysis for Nanoscale Science and Engineering: Country, Institution and Technology Field", *Journal of Nanoparticle Research*, Kluwer Acad. Publ., 2003, Vol. 5, Issue 3-4

Draft Proposal to Establish the Virginia NanoManufacturing Initiative, The Virginia Research and Technology Advisory Commission, Virginia's Center for Innovate Technology and The Initiative for nanotechnology In Virginia, September 30, 2003

<http://www.nanoworld.jp>

<http://www.nanotech.uwaterloo.ca>

<http://www.nanokids.rice.edu>

<http://www.almaden.ibm.com>

<http://www.shimadzu.com/>

<http://www.dentsply-iberia.com>

www.jornada.unam.mx

<http://soko.com.ar/Fisica/cuantica/Atomo.htm>

<http://www.usc.es/gigimo/ESP/lineaauto.htm>

<http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/diccionario/diccionario.htm>

<http://www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Public.Brochure>

<http://materials.ipicyt.edu.mx>

<http://sipicyt.ipicyt.edu.mx:7779/web/curriculaInvestigador>

<http://www.fata.unam.mx>

<http://www.fata.unam.mx/paginapersonal>

<http://www.fisica.unam.mx/nanoifunam/grupos.htm>

www.ccadet.unam.mx

www.iim.unam.mx

<http://mda.cinvestav.mx>

<http://qro.cinvestav.mx>

<http://quimica.izt.uam.mx/posgrado-quimica/electroquimica.htm>

<http://www.uaslp.mx/>

<http://www.conacyt.com>

<http://xml.cie.unam.mx/xml/>

<http://www.nsf.gov>

http://europa.eu.int/comm/research/press/2003/pdf/indicators2003/5-nanotech_es.pdf

<http://www.nsf.gov>

<http://www.nnin.org>

<http://www.nnun.org/>

<http://nanohub.org/>

<http://www.cnsi.ucla.edu/>

<http://www.nano.sc.edu/>

<http://www.nano.neu.edu/>

<http://www.nd.edu/>

<http://www.texasnano.org/>

<http://www.nanotech.uwaterloo.ca/>

<http://www.nanoinvestornews.com>

<http://www.dw-world.de/dw/article/0,,961880,00.html>

<http://www.jst.go.jp/>

<http://weblogs.cfired.org.ar/blog/archives/001088.php>

<http://www.averlo.com/notas/economia/noviembre2004/061104.html>

<http://www.itcr.ac.cr/informatec/setiembre/n15.htm>