

LA NANOTECNOLOGÍA Y EL DESARROLLO: OPORTUNIDADES E INCERTIDUMBRES

Fidel Castro Díaz-Balart

Resumen

En la última década la nanociencia y la nanotecnología han irrumpido como áreas punteras de investigación, conducentes a un cambio de paradigma en cuanto a la fabricación y elaboración de bienes, en la industria en general, la medicina, seguridad y defensa, producción y almacenamiento de energía, gestión medioambiental, transporte, comunicaciones, electrónica y otros. Su expansión ha estado condicionada así mismo, por su carácter transversal y multidisciplinario, que le permite converger con distintas áreas de investigación; principalmente biotecnología, las tecnologías de información y comunicaciones y los materiales. Se prevé tenga un fuerte impacto en la economía y la sociedad en las próximas décadas, en los países avanzados y los de economías emergentes, que profundizarán el gran abismo existente con el resto de las naciones.

Palabras clave: Nanotecnología, innovación, inversión en tecnología, impacto social

Abstract

Nanotechnology and development: Opportunities and uncertainties

In the last decade, nanoscience and nanotechnology have emerged as leading research fields, contributing to a paradigm change regarding goods' production and elaboration, in the industry in general and in medicine, security and defense; production and energy storage; environmental management; transportation; communications; electronic, and others. Their expansion has been conditioned likewise, by its crosswise and multidisciplinary character, which allows them to converge with different research fields; mainly with biotechnology, information technologies, and materials. A strong impact in the economy and society in the advanced countries and in the emergent economies is foreseen in the next decades; resulting in an increase in the already existing immense gap with the rest of the nations.

Keywords: nanotechnology, innovation, investment in technology, social impact
Antecedentes y proyección

El concepto de nanociencia surgió en una conferencia memorable de R. Feynman

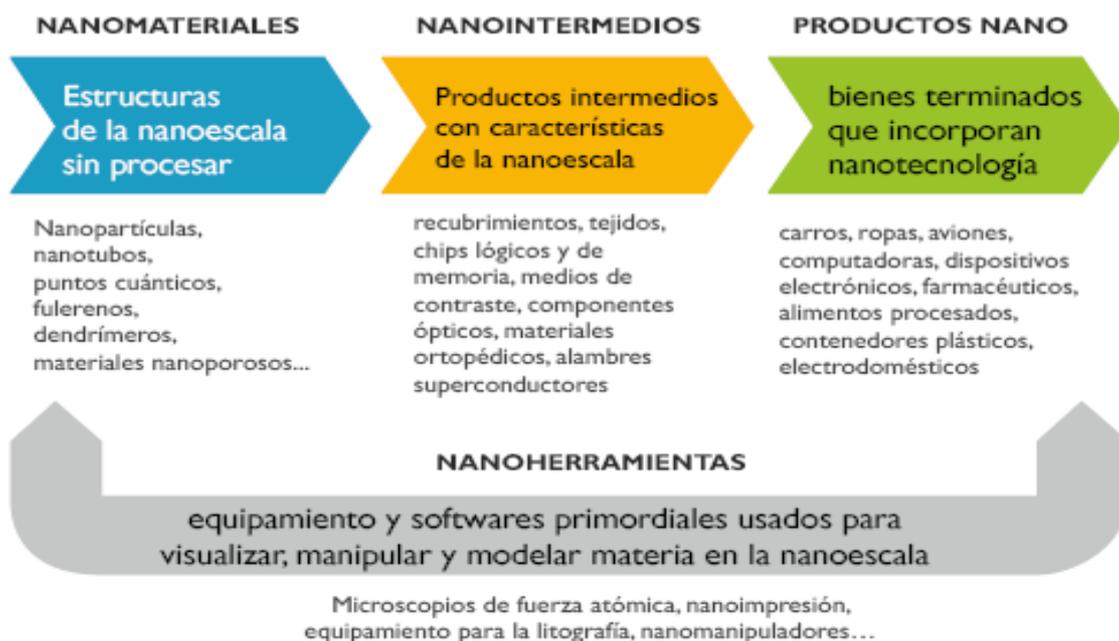
en 1959, donde predijo existía la posibilidad de manipular objetos a escala molecular y atómica sin violar las leyes de la física; el término “nanotecnología” fue acuñado en 1974 por N. Tanaguchi, a partir del prefijo nano que proviene del griego “nannos – enano”, y la definición de un nanómetro como la milmillonésima parte de un metro ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$).

Las extraordinarias posibilidades de la nanotecnología en la fabricación molecular fueron discutidas por E. Drexler en 1986 y su rápido desarrollo ha conllevado a otros muchos avances tecnológicos que fueron posibles por el desarrollo, a principios de la década de los 80’s, de los microscopios de sonda de barrido (SPMs, por sus siglas en inglés) gracias al invento del microscopio de efecto túnel (STM por sus siglas en inglés) por H. Röhrer y G. Binnig, que permitieron no sólo la visualización, sino también la manipulación de objetos de dimensiones nanométricas y de muy distinta naturaleza. Sin detenernos en definiciones, conceptos y las múltiples aplicaciones en este campo, de los cuales existe amplia bibliografía (1, 2), solo debe destacarse que el espectro de campos científicos y técnicos establecidos por estos descubrimientos, con oportunidades para la innovación tecnológica y el desarrollo de nuevos productos abarca: el medio ambiente, la energía, medicina, electrónica y procesamiento de la información, la defensa, así como múltiples aplicaciones físicas, químicas y biológicas, en sensores y el desenvolvimiento de los instrumentos y las técnicas que los sustenten.

En la última década la nanociencia y la nanotecnología (en lo adelante genéricamente, nanotecnología) han irrumpido como áreas punteras de investigación, conducentes a un cambio de paradigma en cuanto a la fabricación y elaboración de bienes. La fuerza con la que ésta ha emergido, se debe a la conjunción de diversos factores: (i) avances recientes de la ciencia y la tecnología, han permitido paulatinamente evolucionar desde las microtecnologías” hasta las “nanotecnologías” (enfoque “top-down”), anticipándose al fin de la era del silicio; (ii) las potencialidades de crear complejidad y desarrollar productos a partir de elementos funcionales atómicos y moleculares (“bottom-up”); (iii) la capacidad de diseñar y fabricar nuevos materiales, establecer nuevos medios de producción y sistemas de control, que contribuyan a la implantación de modelos económicos más sostenibles en medio de incesantes cambios y turbulencias socio-económicas, financieras y ambientales. Estos y otros factores pudiesen mencionarse junto con el carácter transversal y multidisciplinario que les permite converger con distintas áreas de investigación, han propiciado que la *nanotecnología* se acepte, incentive y reciba importante respaldo financiero de los sectores gubernamentales y privado en todo el mundo.

El considerable potencial industrial del nuevo campo, ha motivado que muchos países, principalmente los más avanzados y los de economías emergentes emprendan una carrera por el dominio de esta tecnología; que todos los conocimientos y desarrollos generados hasta el presente hayan desembocado en la puesta a punto de diferentes iniciativas programas nacionales y sectoriales de creación de capacidades, nuevos centros de investigación y equipamientos.

En la fase actual de I+D, donde se encuentra la nanotecnología, apenas se está comenzando paulatinamente a comercializar productos con esta tecnología incorporada y será así hasta bien avanzada la presente década. Las crecientes investigaciones que se están generando en este campo son absolutamente necesarias para que sea posible el paso a las aplicaciones y nuevos productos nanotecnológicos (nanopartículas, materiales – formulaciones y componentes), pero la comercialización plena de las mismas, (Fig. 1) en el futuro dependerá en gran medida de su naturaleza, de cuál sería el potencial atractivo que tendrá cada uno de éstos y del comportamiento de su *cadena de valor* (3). Las aplicaciones prácticas que finalmente se logren, enfrentarán a los altos costes que supone convertirla en una industria; de lo contrario todo puede quedar en ilusiones.



Fuente: *The nanotech report 5th edition Lux Research 2007.*

Fig. 1. Cadena de valores de la nanotecnología

Las inversiones gubernamentales y privadas en nanotecnología se han incrementado notablemente los últimos años. A modo de ejemplo se muestra en la Fig. 2, el desarrollo de la inversión de esta tecnología, durante la pasada década y su proyección para los próximos años, asumiendo el modelo de una *tecnología disruptiva*¹ (4). En la figura, la denominación de “Otros” comprende a Australia, Canadá, China, Europa del Este, Israel, Corea, Singapur, Taiwán, etc. Se puede observar, que la curva sigue el ciclo típico y es muy similar a otras tecnologías disruptivas, en donde aparecen tres

¹ Aquellas tecnologías o innovaciones que como resultado de competir contra una tecnología dominante, conducen a la desaparición de productos o servicios.

zonas diferenciadas. La Zona 1, que se refiere a la actualidad, está caracterizada por una fuerte inversión de investigación y desarrollo (I+D) gubernamental de los principales países desarrollados y en menor grado de los llamados capitales de riesgo. La Zona 2, estará caracterizada por una inversión corporativa, con una rápida expansión del mercado y un agresivo incremento del capital. Finalmente la Zona 3, en la que se llevaría a cabo la consolidación industrial de la nanotecnología. Así se aprecia en la también conocida como *curva de desarrollo S* que, mientras que en el 2000 se estaba en el inicio del desenvolvimiento de los esfuerzos principales de I+D, hasta el 2020 éstos estarán encaminados a “alcanzar el nanomundo”.

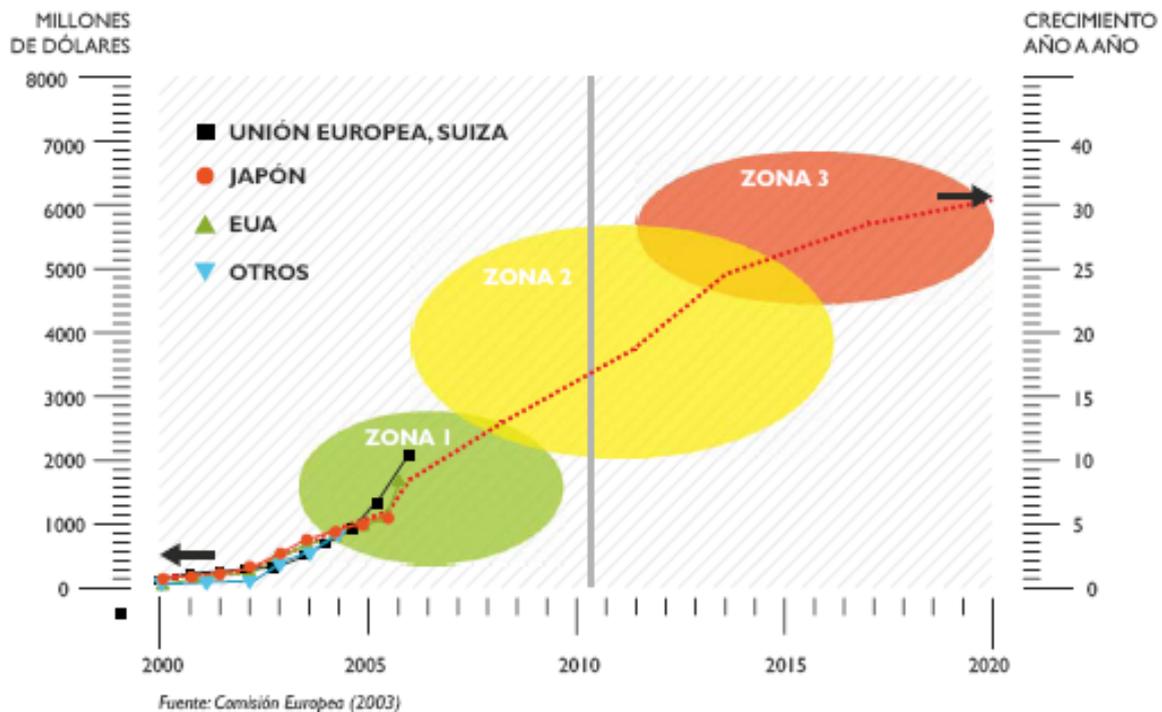


Fig. 2. Desarrollo y proyección de la nanotecnología en los últimos 10 años

De acuerdo con M.C Roco (5), está ocurriendo, una convergencia paulatina en la nanoescala, basada en la utilización de los mismos elementos de análisis (átomos y moléculas); los mismos principios y herramientas; y la capacidad para hacer conexiones de causa y efecto de los componentes simples hacia arquitecturas de nivel superior. El reto será la construcción de sistemas que requieran del uso combinado de las leyes en esta escala, de principios biológicos, tecnología de la información, de los materiales e integración de sistemas. A partir del año 2020 va a presentarse una rápida ascensión de la sección de la curva de la Fig. 1 y se pronostica que en función de nuevas arquitecturas los sistemas estarán basados en la manipulación molecular y en ensamblaje macromolecular como la robótica, la biomimética y los enfoques evolutivos. Hacia mediados de siglo, las perspectivas tecnológicas de los avances científicos interdisciplinarios descritos, denotan una profunda repercusión en el medioambiente, la salud, la industria, los mercados, y por sus implicaciones en casi todos los sectores de la vida moderna e impacto social; se

espera será la fuerza motriz de la próxima revolución industrial, tal vez la más importante de los últimos 200 años. Esta breve reseña estaría incompleta si se omite que como cualquier otro avance tecnológico, junto a la predicción de grandes beneficios, hay riesgos asociados para la salud humana y los ecosistemas. En respuesta a éstos la Real Sociedad y la Real Academia de Ingeniería, (Inglaterra) (6), han informado acerca de los vinculados a estos desarrollos tecnológicos comprendidos en el espectro de las ciencias de los materiales, la metrología, la electrónica y la nanomedicina. En los avances de esta última, se prevén métodos más precisos en los diagnósticos, la imagenología y en la liberación controlada de medicamentos, entre otros. Existen, sin embargo, implicaciones para la toxicología y la salud humana, en especial las provenientes de las nanopartículas y los nanotubos de carbono (7).

En el presente, aunque la mayoría de las aplicaciones nanotecnológicas no constituyen riesgos previsibles para los seres humanos ni para los ecosistemas, se necesita introducir regímenes regulatorios específicos para protección de los trabajadores involucrados en la producción y el empleo de las nanopartículas y los nanotubos, al igual que en sus usos médicos y cosméticos. De ahí que las agencias de protección ambiental de Europa y de los Estados Unidos han establecido programas para la evaluación y regulación de los riesgos para la salud humana y el medio ambiente que también involucran a otros países y se realizan actividades relacionadas, bajo el auspicio de la Organización Mundial de la Salud (OMS). (8)

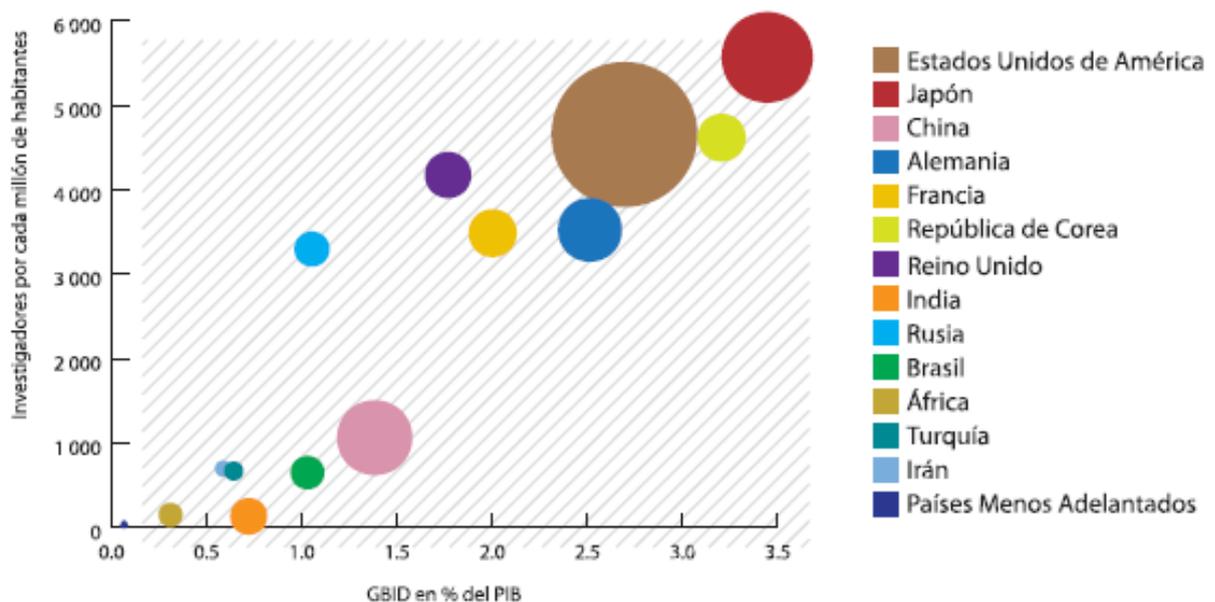
Las naciones que predominarán en la nanotecnología

Al adentrarnos en las esperadas “ventajas para todos” del nuevo campo de la nanotecnología, resulta ineludible tratar de forma breve algunas de las características del entorno contemporáneo donde están insertadas las ciencias y tecnologías modernas, plétoras de nuevos conocimientos, notables descubrimientos y significativos avances, pero marcada también por la arbitraria distribución de la riqueza, la polarización del desarrollo social y el desequilibrio económico.

La innovación ya no es un proceso lineal que surge de un avance en la ciencia, que posteriormente influye en la tecnología, la producción y el mercado. Ahora depende del “medio”, constituido por muchas esferas del conocimiento científico y tecnológico entrelazadas, y en constante retroalimentación, lo que acorta la distancia entre el resultado científico y la nueva tecnología ya incorporada a la producción. Además, el desarrollo tecnológico se desenvuelve en un mundo globalizado, donde la quinta parte de la población mundial que habita en los países más ricos e industrializados, controla el 80% de los recursos, mientras que al resto le corresponde sólo un 20%. Los exégetas de la denominada “*economía del conocimiento*”, sustentada en el peso creciente de la innovación tecnológica en la producción de bienes, servicios y en diversos campos de punta a escala mundial, preconizan sus bondades, y pretenden minimizar otros elementos medulares que la distinguen como; la exclusión de oportunidades; el robo de cerebros —eufemísticamente nombrado

“migración del talento”— y la apropiación del conocimiento, con gran impacto hoy en día.

Los siguientes datos, del recién publicado *Informe mundial de la ciencia 2010*, (9) ilustran claramente la concentración geográfica de la ciencia y explican la persistencia e incluso el aumento de la distribución desigual de la investigación y la innovación a nivel mundial. En la Fig. 3, se constata claramente la preponderancia de la triada conformada por Estados Unidos de América (EUA), Unión Europea (UE) y Japón, que está acorde con su prominencia global en el PIB, en el Comercio Internacional, las inversiones, etc. La parte baja de la figura, a la izquierda, muestra el lugar de los tres grandes recién llegados, China, Brasil y la India que junto a Rusia constituyen el actual grupo BRIC (Brasil, Rusia, India, China). Más relevante aún es el grupo de países menos adelantados (el círculo casi insignificante del gráfico) donde aparecen la mayoría de las naciones, que siguen desempeñando un papel marginal en el I+D mundial.



Nota: el tamaño del círculo refleja el del GBID del país o agrupación.

Fuente: UNU-MERIT, sobre la base de datos del Instituto de Estadística de la UNESCO y el Banco Mundial.

Fig. 3. Inversión mundial en I+D en términos absolutos y relativos

Es perceptible además, que el número de investigadores de los “Cinco Grandes”; EUA, la UE y China con alrededor del 20% cada uno además de Japón (10%) y Rusia el (7%), con alrededor del 35% de la población mundial, tienen las tres cuartas partes del total mundial de los investigadores, mientras que, los continentes de América Latina y África apenas poseen con el 3,5% y el 2,2% respectivamente. Resultado de ello, la migración de investigadores altamente cualificados del Sur al Norte continuó siendo rasgo característico del pasado

decenio, junto a la fuga de cerebros, cuyas principales rutas de “migración” van del Sur al Norte, y se manifiesta asimismo en el éxodo intelectual interno en naciones emergentes del Sur, producto de la entrada de inversores extranjeros que impiden competir a las entidades nacionales con las atractivas remuneraciones que ofrecen sus empresas. Sea cual fuere el término eufemístico elegido, “éxodo intelectual”, “déficit de cerebros” o “circulación de cerebros”, etc., es un fenómeno universal y de grandes proporciones, que también afecta el desplazamiento del Norte al Norte más avanzado. Hoy, cuatro de cada cinco de las mejores universidades del mundo se encuentran en los Estados Unidos de América, que invierte más en I + D que los demás países del G-8 juntos.

El referido informe destaca también, que en 2008 a escala mundial las publicaciones estaban dominadas por la mencionada Tríada y los EUA sigue siendo el líder mundial en términos absolutos (28%), sólo antecedido por la principal región para este indicador que es la UE con un 42,5%. Pero de todos los indicadores empleados, el que pone más de manifiesto la desigualdad en la creación de conocimientos a nivel global es el que refleja las patentes, lo que se evidencia claramente en el número de patentes presentadas a las correspondientes oficinas de la Tríada: en el cual el predominio por parte de la Oficina Estatal de Patentes y Marcas de los Estados Unidos es abrumador (44,2%), seguida por la Oficina Europea de Patentes (28,6%) y la Oficina Japonesa de Patentes (24,9%). Ello determina la posición del mercado de tecnología estadounidense, como principal mercado privado de licencias tecnológicas, al igual que ejemplifica la extrema concentración de las solicitudes de patentes en América del Norte, Europa y Asia. En comparación, el resto del mundo, apenas representa el 2% del total mundial y la mayoría de los países de África, Asia y América Latina no figuran siquiera en la clasificación.

Otro fenómeno asociado, es el elevadísimo número de patentes en las economías de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), que ve reducida la vida útil de los productos de alta tecnología, al ser reemplazados, cada seis meses aproximadamente, por nuevos productos que salen al mercado en versiones más sofisticadas.

Existe una situación similar en el área de la nanotecnología, respecto a la infraestructura, el conocimiento, la tecnología, los recursos y el mercado, necesarios para asimilar sus beneficios. Como elemento clave, para mantener a mediano y largo plazo la competitividad de determinados sectores industriales en EUA, la Unión Europea y Japón, la financiación de este campo ha crecido exponencialmente. Basta señalar que en el periodo 1997-2005 la inversión global en I+D en nanotecnología creció de 432 millones USD a 4200 millones; esfuerzo equiparable al de las inversiones en Genética y Genómica realizadas durante la década de 1990.

Desde inicios de la década pasada y hasta el 2003, el gasto mundial fue alrededor de los 3500 millones de €, de los cuales más del 90 %, correspondió a los tres programas fundamentales de inversión de la INN (Iniciativa Nacional de

Nanotecnología) de EUA (10), el Plan Básico de Ciencia y Tecnología de Japón, y el FP6 (VI Programa Marco para investigación y desarrollo tecnológico de la UE). El resto de los países representó ese año, menos del 10 %. El VII Programa Marco (FP7) (11) de la UE prevé asignar sólo para la Nano producción, 4800 millones de Euros entre el 2007 y 2013. Entre el 2005-2008, EUA gastó 3,7 mil millones USD en Nano S&T y para los años 2009 y 2010, empleó alrededor de 1600 millones de USD anuales, superando el total la cifra de 13 mil millones lo acumulado hasta el presente. Ello constituye la inversión científica más grande financiada públicamente desde el Programa Apolo. Para tener una idea de comparación de lo antes expuesto, entre el 2004 -2007, China, la nación más poblada del planeta, invirtió \$250 millones de USD; Brasil, el gigante sudamericano, \$25 millones y la inmensa India, \$23 millones.

Cabe destacar también, que la principal fuerza motriz del desarrollo de la nanotecnología, ha sido las aplicaciones militares (12). Los esfuerzos del Departamento de Defensa (DoD, por sus siglas en inglés), comenzaron hace 30 años, en los inicios de la década de los 80, con un programa en microelectrónica para reducir dimensiones estructurales por debajo de 1 micrómetro. En 1996, la nanociencia fue identificada como una de las seis áreas estratégicas para la defensa. Se financiaron posteriormente varias especialidades de la nanotecnología en los respectivos laboratorios del Ejército, la Armada y la Fuerza Aérea. Lo anterior ha conllevado, a que a las actividades de I+D de interés para la defensa, se haya destinado en términos reales, un tercio de los recursos de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología.

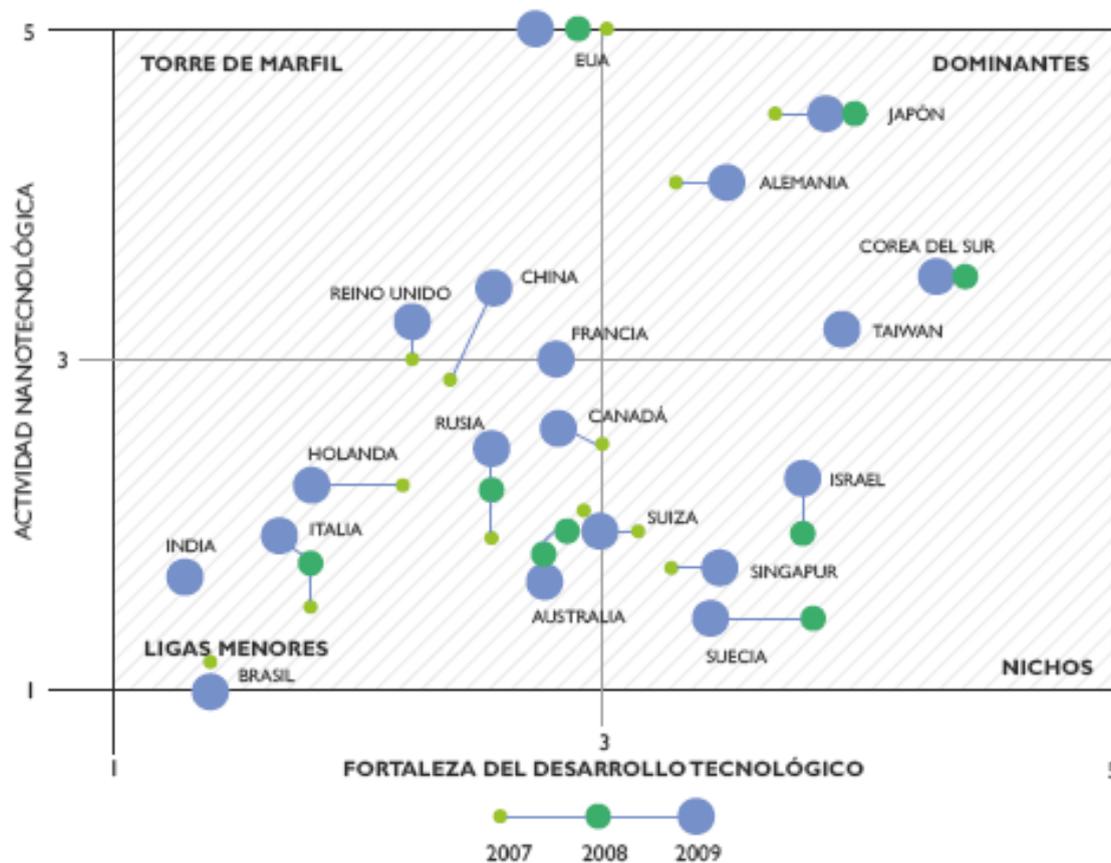
La producción científica y las patentes muestran una similar tendencia en este campo. EUA, con 7206 artículos en 2000, y 12701 en 2007, mantiene una presencia cercana al 27%, seguida de China, que pasó del cuarto lugar en 2000, al segundo con 8964 registros. Completan el listado de los cinco más importantes, Japón, Alemania y Francia, que presentan un crecimiento moderado en el periodo. Respecto a las patentes, la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO siglas en inglés) registró 75720 patentes, entre 2000-2007, ocupando EUA el 1 lugar con 60% del total, seguida por Alemania, Inglaterra, Japón y Francia. Llama la atención que China, ocupe el puesto 22 en este importante indicador y que la región de Ibero América, sea poseedora de apenas el 0,74% de las patentes registradas en el periodo.

Veamos la situación del mercado. Si en el 2007 los productos que empleaban derivados de la nanotecnología, eran del orden de los 147 mil millones USD, correspondiéndole por primera vez a la energía y el medio ambiente más de la mitad de los negocios y las inversiones, instituciones especializadas estiman, que para el 2015, los productos nanotecnológicos en la *cadena de valor* serán del orden de 3,2 billones USD. Es decir, en el breve lapso de siete años crecerá en unas 20 veces. Tomando como base las actuales informaciones de patentes e inversiones del sector, se anticipa que para el 2020 las regiones con industrias reasentadas en su territorio, que dominarán el mercado mundial, serán Norteamérica, Europa, y

Asia, encabezada por Japón y China.

Ilustra bien la situación descrita el mapa conformado por la consultora Lux Research (Fig. 4), a partir de clasificar las naciones según su habilidad para comercializar las nuevas tecnologías y crecer sus economías. En éste aparece, en el eje "x", *la fortaleza del desarrollo tecnológico* (technology development strength) y en el eje "y", *la actividad nanotecnológica* (nanotechnology activity). Para el análisis, los grupos de países, normalizados por su dimensión, se subdividieron en cuatro categorías, determinadas por sus posiciones respectivas en el mapa: *Países dominantes*, ocupan el cuadrante superior derecho. Estos tienen ambos atributos para comercializar los productos; *Torre de marfil*, están en el cuadrante superior izquierdo, tienen alta actividad en nanotecnología, pero son menos propensos a desarrollar sus economías basados en ésta por su relativamente pobre fortaleza del desarrollo tecnológico; *Países del nicho*, que ocupan el cuadrante derecho inferior, destacan en la fortaleza del desarrollo tecnológico pero sus economías no poseen la escala suficiente para ser competitivas internacionalmente y como resultado se especializan mediante centros de competencias en dominios específicos; *Ligas menores* ocupan el cuadrante izquierdo inferior, y son países que no presentan fortaleza en las actividades de altas tecnologías ni poseen fortaleza del desarrollo tecnológico significativo para desarrollar ni comercializar la nanotecnología a nivel mundial.

Está claro que en este escenario, de los países en desarrollo sólo aparecen en las "ligas menores" Brasil y China, que transitarán en los próximos años hacia la *Torre de Marfil*.



Fuente: Ranking the Nations on Nanotech: Hidden Havens and False Threats Lux Research , agosto 2010

Fig. 4. Situación de los países más avanzados según su fortaleza en el desarrollo tecnológico y la actividad nanotecnológica

Retos e impactos de la nanotecnología para los países en desarrollo.

En los escenarios descritos, las técnicas, los nuevos materiales y los procesos en la nanoescala, tendrán inevitablemente implicaciones sociales e impacto en las economías de naciones en desarrollo, ya que entre otros fenómenos, la reducción drástica de materias primas necesarias para la fabricación y las nuevas plataformas industriales, podrían eliminar formas enteras del comercio tradicional y afectar la supervivencia de numerosas comunidades e incluso naciones. Al respecto, ya existen nanopartículas para fortalecer y extender la vida de los neumáticos, en condiciones de sustituir potencialmente al caucho natural; y se están introduciendo en el mercado, productos nanotecnológicos con fibra sintética de igual textura que el algodón, pero mucho más resistentes. En años recientes, el valor de la producción mundial de esta materia prima fue de \$23 mil millones de USD y sólo en el continente africano, 35 países dependen en gran medida de su producción y exportación.

Una investigación realizada en 2005, que recibió atención en los medios especializados (13), presentaba a la nanotecnología como solución para muchos de

los problemas de los países en desarrollo. A partir de un estudio del Centro de Bioética de la Universidad de Toronto (14), que involucró a 63 expertos de nanotecnología en el mundo, se identificaron las 10 principales nanotecnologías que podían incidir en la solución de ingentes problemas que van desde sistemas de producción y almacenamiento de energía, aumento en la productividad agrícola, tratamiento de agua, diagnóstico de enfermedades, y otros.

Existen autores que sin embargo consideran que ese trabajo ignora principios básicos en la relación ciencia y sociedad (15); que la dificultad del enfoque empleado está en que supone que si se identifica correctamente el problema, basta aplicar la tecnología adecuada para alcanzar la solución. Pero la elección de una tecnología no es un proceso neutro, sino dependiente de las fuerzas productivas y económicas, en las que no necesariamente sobrevive la que mejor satisface los requerimientos del contexto social, sino en muchos casos su ventaja de mercado.

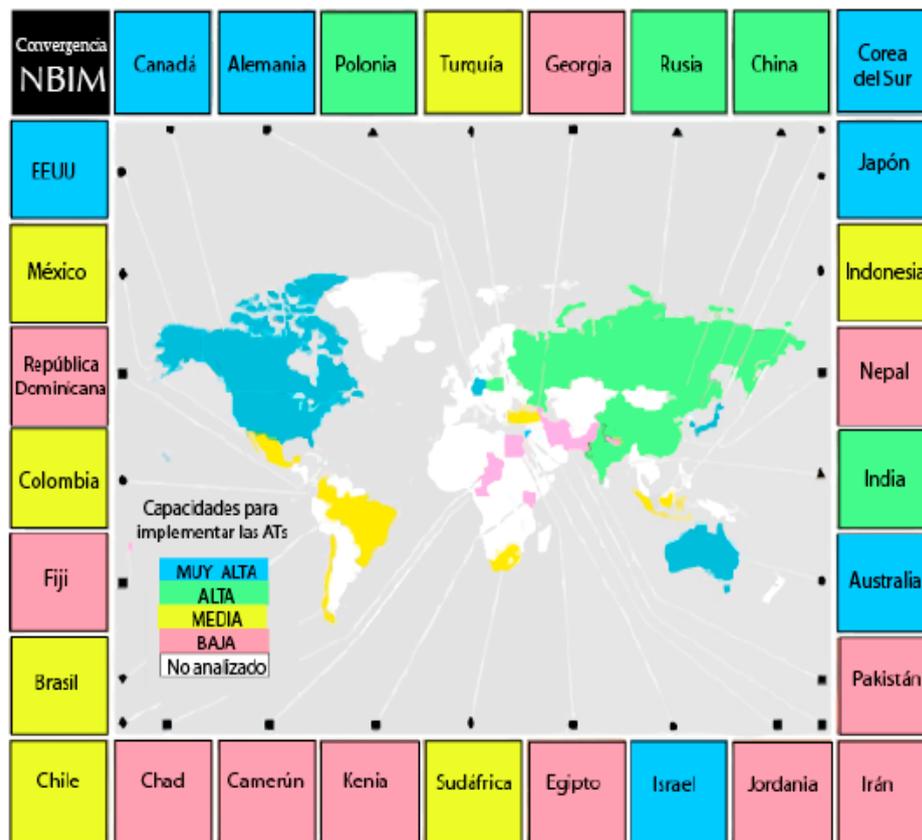
A inicios de 2006, se presentó otro estudio sobre la nanotecnología en los países subdesarrollados (16). El mismo divide respectivamente a las naciones (Tabla I), según tengan programas nacionales, grupos realizando trabajos o intereses futuros en adentrarse en el campo. La Tabla I, refleja que aparte de algunos países del Extremo Oriente y/o denominados de transición, no llegan a cinco las naciones subdesarrolladas (China, India, Sudáfrica, Brasil, etc.), que podían acreditar Programas Nacionales establecidos en este terreno. También está presente la concentración corporativa sin precedentes, en las naciones del OCDE donde radican casi todas las 500 mayores y más exitosas compañías, que tienen inversiones en I+D+I en nanotecnología recogidas en *Fortune* junto con cientos de pequeñas compañías no contabilizadas en esa relación, pero distribuidas en ese contexto.

Estado en las Nano	País	Actividades en la Nanotecnología	Ejemplo
Avanzado	China Sur Corea India	<ul style="list-style-type: none"> • Iniciativa y estrategia nacional • Programa de financiamiento a nivel gubernamental • Patentes relacionadas • Productos comerciales en el mercado o en desarrollo • Presencia de muchas instituciones de investigación 	China <ul style="list-style-type: none"> • Centro Nacional para NanoS & T • Ensayos Clínicos de Nanotecnología en huesos Sur Corea <ul style="list-style-type: none"> • Programa de Desarrollo en Nanotecnología India <ul style="list-style-type: none"> • Iniciativa de S&T de Nanomateriales • Comercialización de Nanopartículas para el suministro de medicamentos controlados
En desarrollo	Tailandia Filipinas Sudáfrica Brasil Chile	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo del programa de financiamiento a nivel gubernamental • Algunas formas existentes de apoyo gubernamental (becas para investigaciones) • Limitada vinculación con la industria • Presencia de algunas instituciones de investigación 	Tailandia <ul style="list-style-type: none"> • Centro para NanoS & T de la Universidad de Mahidol Filipinas <ul style="list-style-type: none"> • Universidad de Filipinas/Proyecto de Tecnología Optoelectrónica de Filipinas Sudáfrica <ul style="list-style-type: none"> • Iniciativa de Nanotecnología de Sudáfrica Brasil <ul style="list-style-type: none"> • Instituto para la Nanociencia, Universidad Federal de Minas Gerais Chile <ul style="list-style-type: none"> • Grupo de Nanotecnología, Universidad Católica de Chile
Surgiendo	Argentina México	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo del programa de financiamiento a nivel gubernamental aún no establecido 	Argentina <ul style="list-style-type: none"> • Grupo de Investigación para las Nanociencias, Centro Atómico de Bariloche e Instituto Balseiro

Fuente: <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1429&lang=es>

Tabla I. La nanotecnología en los países subdesarrollados

Un documento elaborado para el Consejo Nacional de Inteligencia de los EUA en el año 2005 (17) reconoce que la dinámica mundial en la gestión de conocimientos pudiera cambiar para ese país hacia el año 2020, ya que para esa fecha las tecnologías en las regiones emergentes “pueden haberse desarrollado de una forma que contrastará con la manera de cómo evolucionarán en EUA”. Además, en el desarrollo de los nuevos procesos tecnológicos, más allá de las capacidades técnica desempeñarán también su papel “las capacidades institucionales, humanas y físicas para la convergencia de viejas y nuevas tecnologías que permitan explotar las oportunidades tecnológicas”. Estas, se basaran en la convergencia “de aquellas que pudieran ayudar a resolver las necesidades específicas de las diferentes regiones, independientemente que sea o no de interés al consumo estadounidense”. El escenario prospectado por dicho estudio, aparece en la Fig. 5. En relación a los países de la región latinoamericana, el estudio señala que la misma podría convertirse en una alta potencia tecnológica para el 2020, si los estados atienden diversas variables que incluyen aspectos asociados a educación, infraestructura, inversión de I+D, costo y financiamiento sociales, así como la opinión pública, la regulaciones, la gobernabilidad, y la estabilidad política.



Fuente (2006)

Fig. 5 Capacidades para adquirir e implementar las aplicaciones nanotecnológicas para 2020, de acuerdo a las necesidades de los países.

Resulta curioso que Cuba no aparezca siquiera ahí reflejada, cuando producto de la obra social y económica de más de cinco décadas y la visión de su líder histórico, es la única nación latinoamericana, que puede exhibir resultados importantes reconocidos internacionalmente en la mayoría de las variables mencionadas, con realizaciones concretas que son hoy orgullo de su pueblo *en la salud, la educación y en la ciencia y la innovación*, que se traducen en calidad de vida, equidad y justicia social.

En este contexto, con el realismo, la constancia, y la humildad que acompaña los emprendimientos de envergadura, nuestro país puede asumir el reto de la nanotecnología, basado en las realizaciones pretéritas de las universidades, la red de centros de investigación, determinados sectores industriales sustentados en el conocimiento (biotecnología) y en la cultura general atesorada para desarrollar y asimilar aquellas aplicaciones, que resulten viables y beneficiosas al país (18).

Conclusiones

Bernardo Houssay, Premio Nobel de Fisiología y Medicina expresó: “No hay ciencias aplicadas si no hay ciencia que aplicar”. Para lograr resultados del complejo y costoso proceso de I+D, que se origina desde una idea científica hasta su comercialización, pueden transcurrir alrededor de dos décadas, durante las cuales la misma debe ser plasmada en una aplicación práctica, que la industria debe asimilar y la legislación reflejar adecuadamente. El reto añadido a este proceso está en el salto existente entre la ciencia de base y la aplicación comercializada, que implica no solo el desarrollo, la producción y distribución del producto, sino que también contempla las necesidades del usuario final. Aquellos países más preparados y conscientes de la revolución nanotecnológica, estarán en mejores condiciones para velar por las futuras riquezas de sus naciones y la sostenibilidad de su crecimiento económico.

Para ello, se impone coordinar esfuerzos en las esferas política y social, diseñar estrategias claras, cuyos escenarios posibiliten una mejor capacidad de adaptación. Pero el carácter transversal y multidisciplinario de la nanotecnología, la convierte en una rama de alto costo, que demanda ingentes recursos para construir y equipar centros donde coexisten líneas científico-técnicas y requerimientos de infraestructuras muy diversos con la necesidad de disponer de los profesionales de excelencia, formados en entornos que rebasen la superespecialización de los estudios superiores convencionales. También exige de sinergias coherentes entre la investigación, la universidad y la industria, así como la capacidad de crear empresas de base tecnológica a partir de los resultados del nuevo conocimiento (start up, spin off). Todo ello puede constituir una meta insuperable para la mayoría de las naciones del planeta.

Existen criterios que la nanotecnología en un contexto justo y equitativo sería beneficiosa a todos. Hemos visto que en un mundo globalizado en el que prevalece la privatización de la ciencia y del conocimiento ocurre lo contrario, y el futuro de las naciones está muy comprometido. De lo expuesto, queda claro que por mucho se intente edulcorar o matizar la realidad, todo indica que se está creando en la práctica un mundo nano-dividido, de la misma manera que ya lo está por el acceso a las TICs, a la biotecnología y a otros modernos campos de las tecnologías habilitantes. La amplia brecha existente entre los industrializados y los subdesarrollados se extenderá más allá de la economía, para abarcar sin duda alguna también el conocimiento y la tecnología de avanzada en su conjunto.

Considerando además, la alta complejidad, costo y sofisticación de los equipos, instrumentos y plataformas tecnológicas requeridos para la investigación, el desarrollo y la creación de nuevos productos competitivos en este campo, así como la política excluyente y discriminatoria restrictiva imperante, se puede concluir que para el acceso a lo anterior, las posibilidades de servirse de las bondades de la nanotecnología serán sólo para aquéllos que ya la dominan y tienen suficientes recursos y “know-how” para su desarrollo.

Referencias

- (1) Gross M., Travels to the Nanoworld – Miniature Machinery in Nature and Technology (1999), Cambridge MA: Perseus.
- (2) Goddard III W. A., Banner D.W., Lyshevski S.E., y G.J. Handbook of Nanoscience, Engineering, and Technology (2002) Boca Ratón FL: Press.
- (3) Nanotecnología, la Revolución Industrial del siglo XXI, 2006 Fundación de Innovación Bankinter
- (4) Frost & Sullivan Briefing, Nanotechnology: Growth Opportunities and Investment Overview. 28 de abril 2005. <http://www.frost.com/prod/servlet/cpo/40230968>
- (5) M.C. Roco, National Nanotechnology Initiative – Past, Present, Future National Science Foundation and National Nanotechnology Initiative. Segunda edición 20 de febrero de 2006, impreso en marzo de 2007. Pp 5 y 6.
- (6) The Royal Society and the Royal Academy of Engineering. Nanosciences and Nanotechnologies: opportunities and uncertainties. London: the Royal Society, 2004.
- (7) Anthony Seaton, Kenneth Donaldson. Nanoscience, nanotechnology, and the need to think small: www.thelancet.com vol. 365 12 de marzo de 2005.
- (8) OECD Conference on Potential Environmental Benefits of Nanotechnology: Fostering Safe Innovation-Led Growth. Paris 15-17 July 2009/ U.S. Environmental Protection Agency, Nanotechnology under the Toxic Substance Control Act, www.epa.gov/opt/nano)
- (9) Informe de la UNESCO sobre la Ciencia 2010, El estado actual de la ciencia en el mundo. Resumen. Ediciones UNESCO, Impreso en Francia
- (10) National Science and Technology Council, National Nanotechnology Initiative: Supplement to the President FY 2010 Budget, Office of Science and Technology, 2009. www.noano.org
- (11) Seventh Framework Program for Research and Technological Development (FP7). From 2007 to 2013. www.ec.europa.eu
- (12) Jurgen Altmann, Military nanotechnology, potential applications and preventive arms control, Published by Routledge. 2006
- (13) Catherine Brahic, Catherine, Big Development Role for tiny technology, says the study. (2005). SciDev.Net, 12 de abril 2005

- (14) Salamanca-Buentello, F., Persad, D. L., Court, E.B., Martin, D. K., Dear, A. S., Singer, P. Nanotechnology and the Developing World. PLoS Medicine, 2 (5), 0100– 0103 (2005)
- (15) N. Ivernizzi; G. Foldori, La nanotecnología como solución a los países en desarrollo, (2006), [http:// nanoandsociety.com/](http://nanoandsociety.com/)
- (16) Donald C. Maclurcan, nanotecnología y países en desarrollo Parte 2: ¿Qué realidades?, publicado en 19 de octubre de 2005
<http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1429&lang=es>
- (17) Executive Office of the President of United States, “National Nanotechnology Initiative FY 2009 & Highlights”. EOPUS (2009)
http://www.nano.gov/NNI_FY09_budget_summary.pdf
- (18) Castro Díaz-Balart, F. Hacia una estrategia cubana en nanotecnología, en Tercer Seminario Internacional de nanociencia y nanotecnología. La Habana 2010, www.seminarionanotecnologiascuba.com

Autor:

Fidel Castro Díaz-Balart

Académico de Mérito. Academia de Ciencias de Cuba

Doctor en Ciencias (Dr.C)

Dr. Ciencias Físico-Matemáticas (PhD).

Profesor e Investigador Titular.

e-mail: ofascience@enet.cu

Presentado: 6 de abril de 2011

Aprobado para publicación: 10 de mayo de 2011