

Crisis económica, conocimiento y políticas para el desarrollo de la nanotecnología

ANDRÉS PEDREÑO MUÑOZ*

INTRODUCCIÓN

Durante décadas el Silicon Valley nos anticipaba avances tecnológicos relevantes de gran impacto en las economías de todo el mundo y muy especialmente en Estados Unidos. Los avances ligados a los circuitos integrados, los ordenadores personales, el software e Internet han protagonizado unos impactos muy relevantes en aquellas economías que han sabido posicionarse estratégicamente en estos sectores.

Los expertos predecían que el Silicon Valley ya anticipaba a principios del año 2000 el papel de la nanotecnología como nueva ola tecnológica¹ con un impacto potencial muy relevante en todas las economías del mundo.² Charles Vest, ex presidente del MIT, sostenía que los avances en la nanotecnología conducirían a una segunda revolución industrial.³

Quizás no es descabellado pensar que los avances de la nanotecnología están supeditados al propio progreso de la sociedad del conocimiento y a las políticas que los diferentes gobiernos aplican en función de un conjunto de prioridades determinadas por fuerzas políticas y sociales de los propios países.

Por ejemplo, en los Estados Unidos, los periodos presidenciales de Clinton y Bush ofrecen un balance muy diferente respecto al tema que aquí nos preocupa. Durante la administración Clinton, la economía y sociedad del conocimiento tuvo un protagonismo innegable. Los economistas hablaban de “nueva economía”, desarrollo de la sociedad de la información, auge de las nuevas tecnologías, Internet, liderazgo tecnológico, etc. Sus resultados fueron espectaculares.⁴ Crecimiento ininterrumpido del PIB (casi nueve años) con tasas superiores al 7% en términos interanuales, una tasa de de-

* Instituto de Economía Internacional, Universidad de Valencia, España.

¹ Si se desea, con un enfoque más ortodoxo, recurriremos lógicamente a Nikolai Kondratieff cuyas aportaciones sobre estos temas en 1926 todavía permitían una visión en el largo plazo de las “ondas tecnológicas”. Una contrastación entre las aportaciones de Kondratieff y la dinámica desarrollada por el Silicon Valley en las últimas décadas pone de relieve la aceleración de los cambios en materia de desarrollo tecnológico e introducción de innovaciones. En todo caso, para los que asuman las teorías de Kondratieff, la nanotecnología sería la setxa onda tecnológica, algo que se señala desde algunos informes sobre la nanotecnología elaborados en la Comisión Europea.

² En una primera fase se anticipaba una confluencia positiva de la infotecnología, la biotecnología y la nanotecnología.

³ Algunos expertos en estas cuestiones señalan que siguiendo la tendencia de los dos últimos siglos en los que se han producido cuatro sucesivas revoluciones industriales, éstas maduran y se suceden cada cincuenta o sesenta años. Internet y la World Wide Web estarían actuando como catalizador de un salto importante en los avances y el progreso del conocimiento, auténtico acicate de la convergencia de progresos relevantes en nanotecnología, biotecnología, inteligencia artificial, etc. Dicho de otra forma, desde el punto de vista científico y económico se podrían dar unas condiciones objetivas para materializar los “inputs” necesarios.

⁴ Algunos economistas llegaron a sostener que se habían superado los ciclos y las contracciones de las economías tras un periodo tan extenso de crecimiento económico sostenido.

empleo del 4% (la más baja desde 1970), sin aflorar tensiones inflacionistas, saneamiento de las finanzas públicas, cotizaciones bursátiles con espectaculares ascensos sostenidos durante una década, fortaleza del dólar, por mencionar algunos. Además, este crecimiento económico se trasladó al resto del mundo a través del considerable déficit comercial estadounidense.

Esta prosperidad y hegemonía mundial de los Estados Unidos se escenificaba a través de un incremento considerable de la inversión, absorbiendo recursos del resto del mundo. Un modelo en el que la economía norteamericana “se especializaba en rentabilizar más eficazmente el ahorro de los demás: esto mismo se prolongó durante la era Bush, pero en estos últimos años las prioridades han sido sustancialmente diferentes.

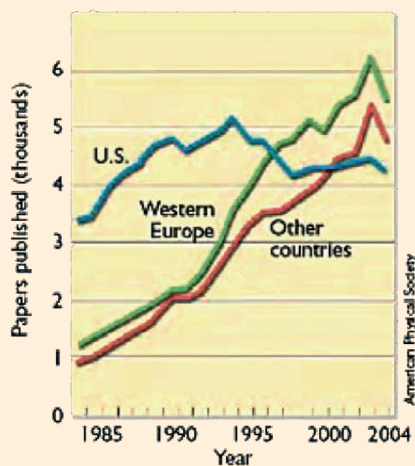
Si atendemos a los movimientos netos de capitales durante 2007, observamos cómo Estados Unidos sigue absorbiendo casi la mitad de los recursos de ahorro mundiales (49,2%), junto a otros países como España (9,8%) y Reino Unido (8,0%). Estados Unidos destinaba ingentes recursos a una economía de guerra.⁵ Estos recursos han financiado en gran medida una burbuja inmobiliaria sin precedentes que ha sido capaz de generar una hecatombe financiera poniendo en crisis entidades bancarias de todo el mundo.

Estamos hablando pues de dos modelos muy diferentes de gestión en las dos últimas décadas. En la primera, se impulsó fuertemente las nuevas tecnologías y la sociedad de la información, una verdadera antesala de la sociedad del conocimiento. En la segunda, los recursos de países ahorradores como China (21,3% de la tasa de ahorro mundial), Alemania (14,4%), Japón (12,1 %), Arabia Saudita (5,5%), Rusia (4,4%), entre otros, han contribuido a expandir una economía de corte tradicional y especulativo (burbuja inmobiliaria, industria del automóvil, altas tasas de consumo de petróleo y otras materias primas, etc), donde la economía del conocimiento ha vivido de las rentas derivadas de las olas tecnológicas precedentes (Internet, etc.).

En su conjunto pues, los sistemas económicos en los últimos años han tenido otras prioridades a la hora de canalizar el ahorro mundial hacia sectores productivos bastante ajenos al conocimiento y la innovación. La crisis financiera e inmobiliaria actual es una consecuencia de ello.

El gráfico de la derecha de la *American Physical Society* da una muestra del estancamiento y recesión en la producción de artículos publicados en Estados Unidos ya en el primer periodo Bush.

No obstante, la nanotecnología no ha dejado de constituir un sector estratégico para ambas administraciones (Clinton y Bush).

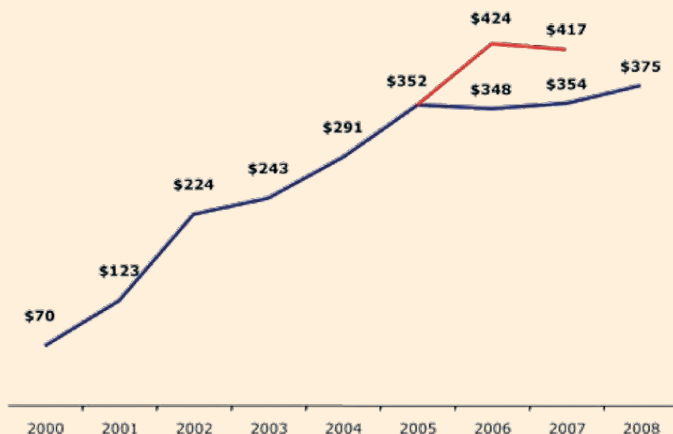


⁵ Según J. Stiglitz el costo financiero de la guerra de Iraq y Afganistán ha supuesto hasta finales de 2007 casi diez veces el costo de la primera guerra del Golfo, casi un tercio más que el costo de la guerra de Vietnam, y dos veces el de la primera guerra mundial.

A las primeras y entusiastas iniciativas de Clinton,⁶ respondió Bush con la *21st Century Nanotechnology Research and Development Act*.⁷ Los fondos federales destinados a las agencias incluidas en la *National Nanotechnology Initiative* se han incrementado desde 46.4 millones de dólares en 2001 hasta los 1,500 millones de dólares que se contemplan en el presupuesto estadounidense del año 2009. Se estima que la inversión privada en nanotecnología en los Estados Unidos es de una cuantía similar a la representada por los fondos públicos. Pero ¿es condición necesaria y suficiente una cuantiosa inversión en nanotecnología?

Obviamente, el destino de los fondos públicos es importante. No es lo mismo invertir en nanociencia, nanomedicina o nanoelectrónica que en nanotecnología militar. El gráfico de más abajo⁸ muestra la evolución del gasto militar en nanotecnología durante la “era Bush”, dándose la circunstancia de que en los últimos años la financiación real aprobada por el Congreso (línea roja) ha superado a la financiación solicitada por el propio Departamento de Defensa de los Estados Unidos (línea azul).

La investigación en la industria militar en los Estados Unidos ha sido el germen de numerosos avances tecnológicos de nuestro tiempo cuyos beneficios se han trasladado a las industrias y a la sociedad civil en general. La investigación militar, al menos en aquellas vertientes más públicas, se concentra en tres áreas. La primera, propiamente militar, destinada a facilitar nuevos medios que permitan avances revolucionarios en los sistemas de combate. Una segunda línea, destinada a desarrollar estrategias sólidas para la síntesis, caracterización, y el montaje de las nanoestructuras individuales. Y, por último, explorar aplicaciones de nanoestructuras revolucionarias para catálisis, sensores, termoelectricidad, termoiónica, y fotovoltaica.⁹ Se conoce poco acerca de los resultados de estas investigaciones.



⁶ Claramente establecidas en el discurso del presidente Clinton en el California Institute of Technology, el 21 de enero de 2000.

⁷ http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=108_cong_public_laws&docid=f:publ153.108

⁸ Fuente de datos: Departamento de Defense *Nanotechnology Research and Development Programs*. En: <http://www.nano.gov/html/res/pdf/DefenseNano2007.pdf>.

⁹ Un mayor detalle puede verse en el artículo de Gian Carlo Delgado Ramos “Economía política de la nanotecnología”, *Revista Mundo Nano*, vol. 1, núm. 1, noviembre de 2008, en <http://www.mundonano.unam.mx>.

Aun considerando que algunos de los mencionados resultados tengan aplicaciones en el sector privado es evidente que en esta última década la nanotecnología —sin privarla de una cuantía de gasto público importante— no ha estado orientada estratégicamente hacia las demandas o aplicaciones más ligadas a la industria o a la sociedad civil (nanomedicina, nanobiotecnología, nanoelectrónica, nuevos materiales, energías renovables, etc.). Más bien a la inversa, desde muchas universidades se han impulsado proyectos que tenían por objetivo aplicaciones relacionadas con la seguridad o la defensa.¹⁰

A esto hay que sumarle una buena dosis de *nanobuzz* (ruido especulativo en torno a las potencialidades derivadas de un boom económico de la nanotecnología).¹¹ Éste ha sido precisamente el costo que han debido pagar un elevado número de empresas creadas —principalmente en los Estados Unidos— a principios de los años 2000, las cuales se orientaron hacia proyectos científicos más que al desarrollo de productos concretos, captando inversores de fondos de capital de riesgo, ávidos de entrar tempranamente en la llamada a ser la nueva ola tecnológica. El resultado de algunos de estos proyectos no ha sido positivo, y han debido malvender activos o reducir su valor drásticamente, o incluso recurrir al cierre y abandono de algunos programas anunciados a bombo y platillo.

El desarrollo de la nanotecnología en el ámbito de la economía necesita de unas condiciones específicas que en los últimos años se han debilitado y de cuya carencia da buena cuenta la crisis del actual modelo productivo a nivel internacional. Esas carencias están relacionadas con la insuficiencia de las apuestas a favor del conocimiento, en general, a favor de una economía de corte financiero-inmobiliario especulativo

EL DESARROLLO DE LA NANOTECNOLOGÍA Y SU IMPACTO EN LA ECONOMÍA

Cabría preguntarse si podemos seguir sosteniendo que los avances en nanociencia y nanotecnología son los suficientemente sólidos como para fundamentar un despegue en términos de crecimiento económico lo suficientemente relevante para los próximos años.

En principio parecería que hay dos vías muy desiguales en lo que a relevancia de potenciales impactos económicos se refiere. La primera es una vía lenta pero cada vez con mayores aplicaciones prácticas derivadas de avances puntuales, la observación y mejor comprensión del mundo nano y sus potencialidades. En este ámbito hay que situar las nanopartículas o nanomateriales, nanocompuestos, los nanotubos, nanocristales, nanofibras, o aplicaciones derivadas. Sus aplicaciones comprenden una amplia gama de sectores y productos: prendas de vestir, textiles, artículos y materiales de deporte, cosméticos, lavadoras, pinturas, envases para alimentos, etcétera.

La segunda vía vendría determinada por avances espectaculares en el estudio, la comprensión de los fenómenos y dominio de las leyes que rigen en el mundo nano.¹²

¹⁰ Es el caso por ejemplo de iniciativas tales como el *Institute for Soldier Nanotechnologies*, impulsado por el MIT. <http://web.mit.edu/isn/>.

¹¹ Mucho ruido especulativo en torno a las potencialidades derivadas de un boom económico de la nanotecnología.

¹² Es el objetivo de la nanociencia, cuyo dominio y comprensión de estas leyes difieren significativamente de las convencionales de nuestro mundo. Avances en la comprensión de estos fenómenos y en la manipulación

Se trata de una nanotecnología avanzada. Al respecto, en los últimos años se han difundido multitud de noticias procedentes de los laboratorios de universidades y de empresas que hacen presuponer avances importantes aunque todavía fragmentados y con una capacidad operativa limitada a la hora de operar con eficiencia en el ámbito de la nanoescala y reconstruir un rompecabezas complejo. El hecho de que una buena parte de estas investigaciones tengan lugar en el ámbito militar y/o empresarial hace todavía más difícil una aproximación certera a las posibilidades de impulsar la ingeniería molecular en todas las vertientes que se han venido señalando en la literatura (nanosistemas, ensamblaje, mecanosíntesis, fabricación molecular, entre otras). La construcción de nuevos materiales con propiedades revolucionarias en todas las esferas (materias primas construcción, industria, agricultura, seguridad) o las fábricas diminutas que ya fueron señaladas por el Premio Nobel, Richard Feynman.¹³ Algunos discípulos de E. Drexler insisten en que el momento de esta nanotecnología avanzada estaría más cerca de lo que parece.¹⁴

A medio camino, hay campos interesantes derivados de confluencias y diversas aplicaciones en la bionanotecnología, computación cuántica, electrónica molecular, células artificiales, pilas de combustible, incluso los propios nanotubos, y otros muchos resultados de la actividad investigadora.¹⁵ Aquí, los sectores implicados poseen mucho más calado: productos químicos y materiales avanzados, construcción, energía, agua, medio ambiente, electrónica, tecnologías de la información y telecomunicaciones, medicina y farmacología, seguridad, industria de defensa y aeroespacial, medio ambiente, sector del automóvil y transporte, agricultura y alimentación. Esto es, no habría que

de las escalas atómica y molecular permitirían avances relevantes en las nanotecnología, esto es, el diseño, caracterización producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas mediante el control de la actividad a escala nanométrica.

¹³ En su ya clásico *There's plenty of room at the botton* (1959). Véase en <http://tinyurl.com/o675>.

¹⁴ En una reciente conferencia en España de Mike Treder, director del "Centro para la Nanotecnología Responsable" en los Estados Unidos, hizo alusión a varios temas relacionados de interés en el progreso de la nanotecnología avanzada. Tras señalar que los esfuerzos de la National Nanotechnology Initiative en descartar la viabilidad de la fabricación molecular apuntada por E. Drexler estuvieron ligados al riesgo de cortar la financiación del Congreso de los Estados Unidos (derivada del miedo político a los peligros anunciados por algunos expertos en torno al control e impacto de la nanotecnología), señaló un amplio muestrario de avances en esta materia. Empezando por el estudio publicado del Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos, en donde se revisan las bases teóricas de la fabricación molecular y la financiación para la la investigación experimental. DARPA (la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa en los Estados Unidos) solicitaba en 2007 propuestas para desarrollar nanofabricación. A partir de ahí, el año 2008 también ha dado muestras de algunos progresos en esta dirección. J. Gorman (Instituto Nacional de Normas y Tecnología) anunció que su grupo de investigación habría construido un prototipo para un "nano-ensamblador". En el Reino Unido, Philip Moriarty (Nottingham University) recibió tres millones de dólares para estos cometidos. La empresa Zyvex en Estados Unidos recibió también en 2008 una subvención de 10 millones de dólares procedentes de DARPA y el estado de Texas para este mismo fin (véase Treder, A., 2008). "Un alcance amplio y profundo: la abundancia negativa de la nanotecnología", en Varios autores, *La globalización en el siglo XXI: retos y dilemas*. Federación de Cajas de Ahorros Vasco Navarras. Bilbao.

¹⁵ Por ejemplo, en 2008, un joven investigador, Javier García, con 20 patentes en este ámbito y Medalla de Europa como mejor químico europeo menor de 35 años, fue también elegido por *Technology Review* (MIT) como uno de los más influyentes científicos jóvenes de todo el mundo. Sus aportaciones en carbón nanoestructurado y su aplicación en superconductores o en catalizadores nanoestructurados para la producción de gasolina son ejemplo de nuevas aplicaciones industriales relevantes aplicables en la industria.

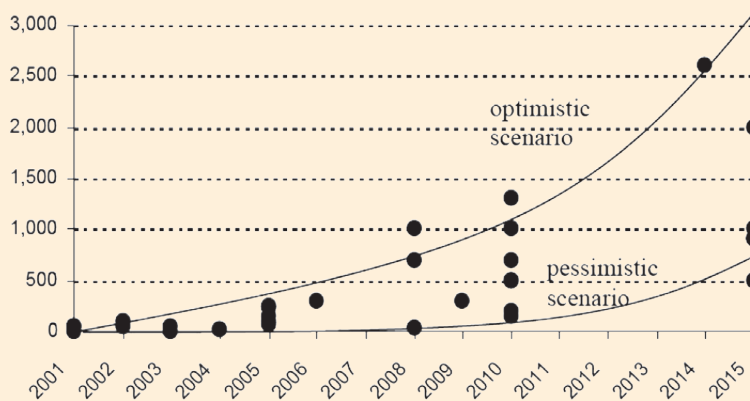
llegar a la nanotecnología avanzada, para progresar de forma relevante en un elevado número de aplicaciones con efectos importantes en la economía¹⁶.

Una de las limitaciones al crecimiento más rápido de la nanotecnología es su condición de frontera entre la realidad científica y visiones ambiciosas, entre primeros logros y expectativas prometedoras, entre mejoras progresivas e innovaciones impactantes. Estamos en una transición que es tanto más difícil por el hecho de que muchos de los avances actuales se mueven en una confluencia interdisciplinar (la física, química, bioquímica, ingenierías, computación, medicina, biología, entre otras).

Hacer prospectiva en estos ámbitos de la nanociencia y la nanotecnología es un tema muy complejo.¹⁷ Desde principios de esta década se han llevado a cabo bastantes predicciones para los próximos quince años. La más conocida fue publicada por la National Science Foundation (NSF) en 2001 y estimaba para 2015 el mercado mundial de productos de nanotecnología en un billón de dólares. Algunas predicciones más recientes pronosticaban ya que se alcanzarían los 2.9 billones de dólares en 2014.

La Comisión Europea se hizo eco en uno de sus informes¹⁸ de algunas de estas estimaciones. En función de las más recientes estimaciones, habría un “escenario optimista”¹⁹ caracterizado por el despegue del futuro mercado de productos basados en la nanotecnología, el cual rebasaría en importancia al del mercado de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones y multiplicaría por diez al futuro mercado de la biotecnología.

Sin embargo, los limitados resultados logrados hasta la fecha y la importancia del tema exigirían de políticas activas y de una cierta diligencia oficial de los gobiernos de



Fuente: Dra. Angela Hullmann, European Commission.

¹⁶ En español hay algunas fuentes que recogen puntualmente noticias con los avances de la nanotecnología que están ligados a potenciales aplicaciones. véase en: <http://www.euroresidentes.com/Blogs/nanotecnologia/avances.htm> y también en: <http://www.euroresidentes.com/Blogs/noticias/nanotecnologia.htm>. También puede verse en la Fundación OPTI una relación de las aplicaciones industriales de la nanotecnología en un país como España. véase: <http://www.opti.org/publicaciones/pdf/resumen10.pdf>.

¹⁷ Las predicciones de escenarios pesimistas y optimistas de los últimos cinco años coinciden en señalar que a principios de los años 2010 se produciría un sustancial incremento del mercado para los productos ligados a la nanotecnología.

¹⁸ En <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/>.

¹⁹ Predicciones del Mitsubishi Institute o Lux Research.

los diferentes países para hacer posible su desarrollo, asimilación, explotación de sus potencialidades y minimizar riesgos.

Ésta parece ser la dirección en la que apunta la nueva administración Obama a través del incremento de fondos federales para la inversión en I + D, en particular en el sector de la energía. Los gobiernos de la Unión Europea (Programas Marco), China,²⁰ Japón y otros países también han aumentado sus inversiones en I + D en nanotecnología.

La Comisión Europea llegó a declarar en su *Nanosciences and nanotechnologies: An action plan for Europe 2005-2009* (COM(2005)243)²¹ su objetivo inequívoco de proporcionar unas condiciones favorables para la innovación industrial a través del desarrollo de la investigación y la tecnología en torno a la nanotecnología, para que se traduzcan en la generación de productos y procesos asequibles y seguros (para la salud).

Sin embargo, tanto en los Estados Unidos, como en Europa y la mayor parte de los países, el desarrollo actual de la nanotecnología ha tenido impactos muy limitados cuyas causas conviene analizar.

LAS LIMITACIONES ECONÓMICAS DEL DESARROLLO NANOTECNOLÓGICO ACTUAL

Muchas de las características de los productos desarrollados en el actual estadio de la nanotecnología (por ejemplo, el caso de las nanopartículas aplicadas a sectores muy diversos como textiles, envases, pinturas, cosméticos, por mencionar algunos) tienen un impacto económico muy limitado. En realidad sólo contribuyen a agregar un cierto valor añadido a productos ya existentes.

Aunque ciertamente pueden introducir innovaciones interesantes y contribuir a singularizar estos productos, el hecho de que no se creen nuevos productos diferentes o nuevos mercados reduce el impacto económico de la nanotecnología. Así pues, a la hora de sacarle partido a la nanotecnología, hay ciertas limitaciones. Un producto o proceso se verá favorecido por una innovación potencial derivada de la nanotecnología en función de una serie de variables que impone el mercado (competitividad del precio, entidad de las mejoras introducidas, compatibilidad con los procesos y tecnologías industriales existentes, por mencionar algunas.)

No obstante, las innovaciones nanotecnológicas podrían tener un impacto mayor si las propias industrias acometieran el desarrollo de productos en función de las necesidades de las propias industrias, empresas y mercados, y se tradujeran de esta forma en innovaciones relevantes. Por ejemplo, no es lo mismo investigar genéricamente sobre nanotubos que enfocar su aplicación para propiciar un salto importante en la industria de los neumáticos.²²

²⁰ Una mención especial merece el caso de China. Por ejemplo, el número de trabajos de investigación publicados por científicos chinos en revistas internacionales en el 2006 estuvo bastante a la par del de sus colegas de EUA o Japón, cuando diez años antes apenas representaban una séptima parte. Y el número de patentes se incrementó de menos de 1,000 en el 2001 a más de 4,600 en marzo del 2005.

²¹ COM(2005): "The economic development of nanotechnology - An indicators based analysis". En: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nanoarticle_hullmann_nov2006.pdf.

²² El ejemplo me lo sugiere una presentación de *Científica*. A lo largo de los dos últimos siglos sólo algunas innovaciones han tenido la suficiente relevancia como para revolucionar la industria de los neumáticos desde la invención de la rueda allá por el 3,500 a.C. en Mesopotamia. Se recuerda la goma vulcanizada de Goodyear (1844), los neumáticos con cámara de aire de Dunlop (1887), los neumáticos reforzados (1904), el neumático radial de Michelin (1946) y... ¿el neumático con nanotubos incorporados?

Hay que sacar conclusiones claras sobre el limitado impacto que han tenido hasta el momento las grandes inversiones en I+D en nanotecnología en países como Estados Unidos. Aparte de la ponderación militar del gasto en el periodo Bush, los programas de inversiones en nanotecnología no se traducirán en industrias y empresas rentables si la mayoría de los fondos van mayoritariamente a satisfacer demandas con una fuerte orientación académica o si están destinados a objetivos a muy largo plazo.

Al respecto, las aplicaciones de la nanotecnología que observamos actualmente en los mercados son la punta del iceberg. Hay que reorientar las investigaciones y favorecer aplicaciones potenciales que sean productivas para industrias focalizadas en productos y sus necesidades de innovación, todo esto sin perjuicio de las apuestas en nanociencia e investigación básica en general. De alguna forma ha fallado la cadena de valor y su proyección en términos de ventajas competitivas para las empresas y para las economías en general.

En definitiva, será difícil, para los próximos años, que se cumplan las optimistas proyecciones sobre el potencial de crecimiento económico de productos que utilizan algún tipo de nanotecnologías si no cambian las pautas seguidas en las políticas de asignación de recursos y estímulos a la nanotecnología en general. Habrá que mejorar el enfoque y amplitud de miras en nuestras políticas si deseamos que la nanotecnología se convierta en un motor importante de crecimiento para nuestras economías, base de una nueva ola tecnológica y, por tanto, de innovaciones de productos y procesos con suficiente entidad para encarar una crisis de modelo de desarrollo como la actual.

LA CRISIS, EL CONOCIMIENTO Y LA NANOTECNOLOGÍA: POLÍTICAS ACTIVAS A FAVOR DEL DESARROLLO PROGRESIVO DE LA NANOTECNOLOGÍA

Una gran parte de los economistas estarían de acuerdo en que la recesión económica actual pone de relieve la importancia de construir una nueva economía con capacidad renovada para la innovación. Para superar la crisis actual, es necesario fomentar y mantener métodos de fabricación avanzados y puestos de trabajo intensivos en conocimientos. La sociedad del conocimiento, la economía del conocimiento deben desempeñar un papel fundamental en los nuevos modelos postcrisis.

La nanotecnología parece poseer todos los atributos para servir a esa nueva economía de la innovación y del conocimiento. Si partiéramos de la hipótesis de que todavía existe un largo recorrido hacia la nanotecnología avanzada,²³ tendríamos que fomentar una política nanotecnológica en nuestros respectivos países que afrontara todas las vertientes de interés derivadas para su desarrollo. Empezando quizás por algo básico: fomentar el desarrollo de *una cultura científica, empresarial y, en gene-*

²³ Ésta es la hipótesis que se asume en el presente trabajo. Incluso en el caso de que la fabricación molecular fuera posible a corto plazo estaríamos ante una gran solución de muchos de los problemas que afectan a la economía, especialmente el mayor: la limitación de recursos escasos (el supuesto básico más importante) pero también estaríamos ante un grave problema. Efectivamente, el derivado de la adaptación a unos cambios económicos de tal magnitud que quizás no estemos suficientemente preparados (crisis de la mayor parte de los sectores tradicionales, alteración muy veloz de los hábitos de vida de la población, y unos riesgos muy relevantes del mal uso de la nanotecnología), esto sin contar otras implicaciones de tipo político o militar.

ral, social en torno a la nanotecnología. Se diría que “hay mucho espacio que llenar en nuestros países de cara a los potenciales avances y retos de futuro de la nanotecnología”.

Cabe aventurar al menos actuaciones en las siguientes direcciones:

- Una mayor *coordinación y fomento de redes institucionales entre las organizaciones implicadas o afectadas por el desarrollo nanotecnológico*. La propia National Nanotechnology Initiative (NNI), creada en 2001 en los Estados Unidos, puede ser un modelo para identificar “actores relevantes” y fomentar la coordinación e implicación de los protagonistas. No obstante, la constitución de este tipo de órganos debe ir más allá del intento de coordinar un reparto de fondos públicos o incluso de la actividad de los diferentes centros de investigación. En un sentido más amplio y ambicioso, deberíamos propiciar para cada país una estrategia competitiva en el desarrollo de la nanotecnología y en la productividad de los fondos aplicados.
- Una política regional capaz de desarrollar *clusters o centros de nanotecnología aplicada en torno a las actividades predominantes en el territorio* y las aplicaciones de la nanotecnología relacionadas. Quizás las políticas muy activas de algunos estados en los Estados Unidos nos pueden dar pistas sobre la relevancia de tales apuestas, aunque el hecho diferencial en países menos avanzados y con menos fondos sería enfocar hacia campos de especialización en la nanotecnología relacionados con el tejido productivo predominante.
- Lo anterior está muy relacionado con los *incentivos a la inversión privada en nanotecnología*. Sin inversión privada no tendremos efectos relevantes relacionados con el desarrollo de productos e innovaciones para hacer rentable el cuantioso gasto público en nanociencia y nanotecnología básica. En los últimos años, aproximadamente el 50% de la inversión privada la absorbe Estados Unidos. La otra mitad restante se reparte entre un reducido número de países: Japón, Alemania, Corea, Reino Unido, países nórdicos, Francia, Holanda Francia, Suiza, Canadá e Italia. En el resto del mundo incluida España (octava potencia económica del mundo) e Iberoamérica las cantidades son escasamente significativas.
- Confluencia de *programas mixtos de inversión pública y privada*. Europa, por ejemplo, juega con una fuerte desventaja en términos de fondos de capital riesgo o *angels* respecto a los Estados Unidos. Como he dicho anteriormente, se debe crear una cultura empresarial en torno a la nanotecnología y sus posibilidades. La mayor parte de las empresas europeas y de otros muchos países son ajenas a las posibilidades de la nanotecnología aplicada a su actividad, producto o sector.
- Un sistema educativo *competitivo y capaz de asignar correctamente los recursos* en función de las prioridades sociales más relevantes. La necesidad de atraer y formar recursos humanos en ciencia y tecnología se ve acentuada en el escenario del desarrollo nanotecnológico de los próximos años. En los Estados Unidos y otros países se han iniciado programas didácticos relacionados con el conocimiento básico de la nanociencia destinados a despertar el interés y fomentar el desarrollo de nuevas vocaciones en el ámbito de la educación primaria y secundaria. Estas políticas, junto con iniciativas para la atracción de talentos, pueden

fundamentar una masa crítica de capital humano especializado en un sector llamado a ser estratégico en las próximas décadas.

- Una estrategia activa a la hora de desarrollar sinergias concretas entre el sector privado y público más allá de la financiación. Un ejemplo podría ser el impulso de parques científicos y tecnológicos en el entorno de aquellas universidades con una masa crítica de investigadores relevantes y de empresas relacionadas con algunas aplicaciones potenciales. En este entorno, convendría clarificar objetivos de empleo en sector nanotecnológico, patentes, acceso a infraestructuras y equipamientos especializados de investigación, incentivos para la comercialización, incentivos para la creación de fondos de capital de riesgo privados, etcétera.
- Fomentar una *información veraz y rigurosa sobre las ventajas y riesgos de la nanotecnología*, una cultura social correcta que promueva una educación y toma de conciencia para escenarios venideros en los que las contribuciones de la nanotecnología sean más relevantes.²⁴
- *Construir una regulación eficiente*. Algunas investigaciones sugieren importantes efectos en la salud, medio ambiente, seguridad, etc. La regulación debe adecuarse eficientemente para hacer posible su desarrollo minimizando riesgos importantes.

Hay una diferencia muy importante entre la nanotecnología, por una parte, y la sociedad de la información, Internet y los avances modernos en las telecomunicaciones, por otra. En estos últimos, la iniciativa privada ha sido motor del desarrollo, y la desregulación ha propiciado un marco idóneo para su expansión y rápido crecimiento en todo el mundo. La nanotecnología requerirá de un sistema eficaz de interacción pública y privada antes incluso del advenimiento de la nanotecnología avanzada. Los riesgos y beneficios deben ser bien administrados. Por tanto, sería importante promover acuerdos y políticas entre países y favorecer un marco de estrecha colaboración internacional en el que los Estados, aparte de fomentar estrategias nacionales, tuvieran en cuenta en todo caso que la nanotecnología puede ser uno de los estadios más ambicioso a los que podría llegar la sociedad del conocimiento, algo que obligaría a una fuerte revisión de los fundamentos de nuestros propios sistemas económicos. Y sería lógico plantearse ¿por qué no hacerlo desde ahora y progresivamente?

²⁴ Un interesante punto de vista es recogido en el artículo de Sytrand R. y Nydal R. (2008). "Nanoética buena – nanotecnología buena", *Revista Mundo Nano*, vol. 1, núm. 1, noviembre de 2008 | www.mundonano.unam.mx.