

## PROYECCIONES ECONÓMICAS Y SOCIALES DE LA NANOCIENCIA Y LA NANOTECNOLOGÍA

*Jesús Lizcano Alvarez*

*Catedrático de la Universidad Autónoma de Madrid*

*Director de la revista Encuentros Multidisciplinares*

### 1. IMPORTANCIA Y CONTEXTO ACTUAL DE LA NANOCIENCIA Y 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 realidad y 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 hito o 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 Nobel, por ejemplo, Joseph Stiglitz, Nobel 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. Llevando quizá al extremo la importancia de la nanociencia y la nanotecnología podemos hacer referencia a la opinión de Burrows, director de la Nanoscience and Nanotechnology Initiative, quien 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.

En todo caso la importancia que está adquiriendo el campo de lo *nano* se evidencia por los muy importantes esfuerzos económicos y financieros que se vienen llevando a cabo en los últimos años en estas investigaciones, si bien se supone que son muy inferiores a los recursos que se van a ir aplicando en el futuro; cabe señalar, por ejemplo, que en 2001 la inversión gubernamental en nanotecnología ascendió a nivel mundial a 1.300 millones de euros, y que en 2002 la cantidad destinada por organismos públicos y privados va a alcanzar los 2.200 millones de euros. En clave de futuro, la National Science Foundation prevee que en el año 2015 el mercado de productos y servicios relacionados con la nanotecnología alcanzará los 1,1 billones de euros.

Por países, Estados Unidos es el primer inversor en nanociencia y nanotecnología, destinando una cantidad a este campo que sólo es superada por las que dedica a la Defensa y a la Biomedicina; Japón es el segundo país del mundo, mientras que la Unión Europea es la tercera en cuanto a cantidad de recursos aplicados a las investigaciones en lo *nano*.

En estos últimos años han surgido numerosos centros específicos sobre nanotecnología, como por ejemplo, el Center for Applied Nanotechnology Institute, en Taiwan, con un presupuesto de 290

millones de dólares. También muy numerosas empresas de capital riesgo están comenzando a invertir en nanotecnología en Europa y en Estados Unidos. Según algunos estudios recientes sólo en la Unión Europea existen ochenta y seis redes transnacionales de nanotecnología.



*D. Jesús Lizcano Alvarez*

En todo caso, los centros pioneros y más destacados en este ámbito se pueden considerar algunos centros universitarios de prestigio como Harvard, Columbia, Yale, Oxford, así como grandes corporaciones multinacionales de los sectores más avanzados a nivel tecnológico, como, por ejemplo, en el terreno de la informática y las telecomunicaciones: IBM, Philips, Xeros, HP, o bien en el sector químico: Dupont, Bayer o Monsanto, o en el automovilístico: General Motors, Ford, o en el farmacéutico: Lylly.

## **2. REPERCUSIONES ECONÓMICAS DE LA NANOTECNOLOGÍA: EFECTOS EN LA PRODUCTIVIDAD INDUSTRIAL Y LA COMPETITIVIDAD.**

Al considerar las repercusiones económicas de la nanotecnología, es necesario hacer un cierto esfuerzo de anticipación, puesto que lo que se puede decir en la actualidad supone hablar en clave de futuro, ya que se presentan innumerables proyectos, previsiones y objetivos a cumplir en este terreno, más de lo que se puede hablar actualmente como realidades puestas en práctica o en explotación. Es por ello que en las siguientes líneas nos vamos a referir fundamentalmente a previsiones, unas más cercanas -y por lo tanto más probables- que otras, que se presentan como más lejanas en el tiempo y por tanto con un mayor nivel de incertidumbre, aunque en cualquier caso no vamos a dejar de mencionar aquellas que se pueden considerar más importantes y sustantivas para el desarrollo económico y social.

La nanotecnología va a originar un cierto replanteamiento de la economía y una remodelación de numerosas estructuras y sectores productivos. Desde un punto de vista microeconómico, los nuevos procesos de producción empresariales en muchas empresas van a poder originar importantes mejoras en los dos ejes fundamentales de la competitividad, esto es: *Precios* (vía reducción de costes), y *Calidad* de los productos. A tal efecto se van a ir desarrollando, por ejemplo, nuevos materiales que reducirán costes y aumentarán la calidad de forma espectacular en la construcción de edificios, de aviones, de automóviles, etc. al conseguir que sean más baratos, más ligeros y más resistentes.

En el terreno de la robótica, por ejemplo, se va a originar una importante renovación, o incluso revolución, ya que se está incluso pensando en la producción de robots que se *autoduplicuen*, aunque bien es cierto que ello podría traer como consecuencia indirecta en diversos ámbitos dejar a muchas personas sin empleo.

Analizando la economía desde un punto de vista sectorial, cabría pensar que se van desarrollar de forma importante nuevos sectores productivos, los cuales van a transformar en buena medida el sistema macroeconómico en un plazo no demasiado dilatado. Así, por ejemplo, cabría hablar de los sectores dedicados a los *nanomateriales*, la *nanobiología*, la *nonoelectrónica*, la *nanofotónica*, los *nanoinstrumentos*, así como el *software* para modelizar y controlar las distintas actividades productivas.

Cabe señalar en este contexto el apoyo que va a suponer la muy previsible producción de *nanomotores*, los cuales podrán llegar a construir estructuras a partir de los componentes atómicos o moleculares más diminutos.

Por otra parte, la nanotecnología va a favorecer la eficiencia económica a nivel global mediante la localización y especialización geográfica, ya que muchos productos podrán ser sucesivamente producidos a través de distintos componentes en diversos lugares del mundo, que luego se ensamblarán en un último lugar, dando finalmente lugar a productos realmente minúsculos de tamaño pero de alto valor añadido.

En general se va a experimentar una mejora sustantiva en el uso y la vida útil de grandes dispositivos industriales; por ejemplo, se están creando ciertos revestimientos que protegen del desgaste a las grandes máquinas escavadoras, con lo cual la vida útil de los rastrillos y otros accesorios de estas máquinas pasaría a multiplicarse por varias veces.

Hay que matizar en todo caso que por el momento los principales beneficiarios de la nueva revolución industrial no han sido los productores de nuevos materiales, sino los que suministran las herramientas e instrumentos con los que crearlos, como son los fabricantes de microscopios de fuerza atómica, los de software de simulación para predecir comportamientos de las nuevas estructuras, así como los de otros utensilios y dispositivos necesarios para trabajar con materiales invisibles al ojo humano.

En el futuro gracias a la nanotecnología se podrá aumentar espectacularmente el grado de eficiencia de numerosos procesos de fabricación; por ejemplo, en la producción de automóviles se podrá contar con mecanismos que a través de nanotubos permitan cargar la batería de los coches eléctricos con la energía calorífica que puedan desprender los frenos, de forma que las pérdidas netas de energía en el proceso podrían llegar a ser prácticamente nulas.

Actualmente se está pensando en llegar a disponer de máquinas o constructores *universales* que pudieran llegar a fabricar de una forma atómicamente exacta cualquier cosa, producto o material, mediante un mecanismo de ensamblaje *de abajo arriba*, en base a moléculas o fracciones de moléculas, que incluso se podrían autoreplicar.

Como un cierto contrapunto de esta espectacularidad en la faceta económica de la nanociencia y la nanotecnología, cabe señalar desde el punto de vista de los mercados financieros, que hay voces ciertamente críticas o escépticas que señalan la posibilidad de que la nanotecnología pueda ser la próxima *burbuja* inversora que llegue a arrastrar cantidades ingentes de recursos financieros, para luego desincharse o explotar en base a un exceso de expectativas.

### 3. REPERCUSIONES SOCIALES DE LA NANOTECNOLOGÍA: EFECTOS EN LA CALIDAD DE VIDA

Los avances en la nanociencia y en la nanotecnología van a implicar importantes cambios en la sociedad. En este sentido pensamos que el desafío fundamental será encontrar un adecuado *nexo* entre los avances *científicos* y los problemas *sociales*.

En el terreno de la medicina y de la farmacología se preveen muy importantes avances y desarrollos que es de esperar puedan otorgar una mayor calidad y esperanza de vida a los ciudadanos. En este sentido se piensa a nivel general que lo *nano* puede contribuir a atenuar los mecanismos del envejecimiento, a eliminar la necesidad de cirugía en intervenciones médicas, a la destrucción de virus, células cancerígenas, colesterol, etc. Además, se podrían evitar incluso los efectos secundarios de la quimioterapia que sufren los pacientes de cáncer, y ello mediante la ingestión de unos jugos de frutas nutridos con compuestos dirigidos al control preciso y personalizado de las células malignas.

En el campo de los análisis y diagnósticos de enfermedades se prevee que los análisis puedan ser mucho más baratos y hacerse de forma semiautomática a domicilio, dado que se están desarrollando investigaciones avanzadas para que un simple *nanosensor* pueda ofrecer un diagnóstico completo a partir de una gota de sangre, ello mediante la identificación directa de los correspondientes cambios moleculares.

Hay que señalar, por otra parte, ante el actual problema de que aproximadamente la mitad de los fármacos terapéuticamente útiles son *hidrófobos*, lo cual viene a complicar su administración a través de medios acuosos, que va a resultar posible que mediante la reducción a escala nanométrica del tamaño de las partículas del fármaco a administrar, se podrá mejorar sensiblemente la bioaccesibilidad de estos productos, puesto que podrán pasar fácilmente por los vasos capilares, y por lo tanto administrarse por vía intravenosa de forma prácticamente directa y automática. También se viene trabajando últimamente en el desarrollo de moléculas en forma de caja, que puedan almacenar principios activos de forma que puedan reconocer, por ejemplo, células de carácter cancerígeno.

### 4. LOS MERCADOS EMERGENTES DE NANOPRODUCTOS

Los mercados de productos y servicios relacionados con la nanotecnología se han venido incrementando de forma espectacular, de forma que en la actualidad las ventas en todo el mundo de este tipo de productos o servicios alcanzan los 52.000 millones de euros, una cifra que se espera multiplicar por diez o por doce veces al final de esta década, según algunas estimaciones.

Vamos a hacer referencia a algunos de los nuevos productos derivados de la nanotecnología en diversos sectores. En el sector *textil*, por ejemplo, el nylon 6, posee nuevas propiedades de resistencia y elasticidad. En el sector de *hidrocarburos* han surgido productos como las zeolitas, minerales con poros inferiores a un nanómetro que se utilizan como catalizadores en el proceso de fabricación de la gasolina. Por otra parte, la nanociencia viene facilitando la construcción de láseres semiconductores y memorias de acceso aleatorias basadas en la magnetorresistencia gigante. En el terreno de la *electrónica*, los nanotubos de carbono pueden usarse en la generación de muy diversos componentes; así, empresas como Samsung o Motorola vienen fabricando pasta de nanotubos de carbono para la producción de pantallas extraplanas.

En el sector de la *cerámica* se están consiguiendo cerámicas mucho más duras y resistentes a través de partículas nanocristalinas. En el sector del *automóvil* se vienen desarrollando partículas que refuerzan las estructuras de los polímeros de cara a ser utilizadas eficientemente en los automóviles. En el ámbito de los productos *fotográficos*, Kodak y 3M vienen produciendo nanoestructuras de películas especialmente finas, y en el sector de la *relojería* se están fabricando relojes de sólo 8 mm. de ancho impulsados por microcuarzos. Dentro del sector *químico* ya se están diseñando tejidos realmente

inteligentes, que pueden funcionar como cables conductores y reaccionar a señales de electricidad, presión o calor, dado la posibilidad de que quien lleve estas prendas pueda incluso cambiar el color de la ropa o aumentar o disminuir la temperatura según su necesidad o voluntad.

## **5. ASPECTOS ENERGÉTICOS Y MEDIOAMBIENTALES DE LA NANOINDUSTRIA Y LOS NANOPRODUCTOS**

Desde una perspectiva *energética* la nanoindustria y los nanociencia pueden generar por muy distintas vías numerosas formas de ahorro y eficiencia energética, incluso nuevas fuentes de energía, y desde luego claras ventajas y avances en el terreno del equilibrio *medioambiental*.

La sustitución de los combustibles fósiles que actualmente se consumen de forma masiva es uno de los desafíos que puede afrontar con éxito la nanociencia; en este sentido se prevee la posible utilización en el futuro de *colectores solares*, que en órbita al rededor de la Tierra, puedan hacernos llegar una importante cantidad de energía solar, ya que actualmente venimos a aprovechar solamente una diezmilésima parte de la energía solar que llega a la Tierra.

En este terreno de las nuevas fuentes de energía, cabe recordar que se están desarrollando sistemas que pretenden usar el hidrógeno como combustible, y ello gracias a la utilización de un método seguro de transporte y almacenamiento de este elemento, como es el que constituyen los nanotubos de carbono, de tal forma que un coche que pudiera funcionar merced a la combustión del hidrógeno con el oxígeno, sólo produciría agua como residuo, convirtiéndose realmente en un coche ecológico óptimo; se ha comprobado a este respecto que los nanotubos de carbono permiten el almacenamiento del hidrógeno, principal inconveniente o handicap técnico para la utilización del mismo en los automóviles.

En el terreno específico del medioambiente, se están diseñando nuevas máquinas que puedan llegar a obtener su energía de la propia contaminación ambiental; por otra parte, se están creando materiales microporosos que permitan filtrar las impurezas del aire, así como nuevos materiales muy eficientes en la depuración de agua, debido a su capacidad para discriminar un tipo de aniones (átomos cargados negativamente) presentes en algunos productos tóxicos, como el arsénico.

## **6. LA INFORMÁTICA, LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES**

Los avances que en clave *nano* vienen acaeciendo en el ámbito de la informática pueden suponer muy importantes aplicaciones, tanto para la mejora de los sistemas de información, como para la de los sistemas de comunicaciones. En el terreno del *hardware*, en primer lugar, cabe señalar que la fabricación de nanomateriales más resistentes que el acero y los circuitos integrados del tamaño de una molécula que se han alcanzado, van a permitir la fabricación de ordenadores mucho más potentes y con un consumo realmente mínimo de energía.

Por otra parte, dado que la sucesiva miniaturización de los chips va a quedar inexorablemente interrumpida por leyes físicas en una o dos décadas, se ha venido fomentando la miniaturización de los componentes informáticos a escala atómica, de forma que se puedan usar átomos de hidrógeno, por ejemplo, para los unos, y átomos de flúor para los ceros.

En lo referente al terreno del almacenamiento de la información, el objetivo inmediato es llegar a almacenar un terabit (un billón de bits) por centímetro cuadrado, o en definitiva una densidad cien veces superior a las actuales; en este ámbito se vienen desarrollando de forma muy importante las capas nanométricas, que permiten una elevada densidad de almacenamiento de datos mediante la explotación del anteriormente citado efecto de magnotorresistencia gigante.

En el terreno del *software*, por otra parte, ha avanzado de forma muy importante en el modelado y la simulación de estructuras complejas de escala nanométrica. En un futuro muy cercano se prevee que, en base a una lógica computacional adecuada, se disponga de aplicaciones capaces de ejecutar tareas inteligentes, como traducción simultánea, reconocimiento de imágenes, vigilancia y cuidado de enfermos, etc.

Por otra parte, hay que señalar que se han llegado a desarrollar algunos modelos informáticos que emiten impulsos eléctricos para activar la dispensación de fármacos en microimplantes químicos, lo cual puede llegar a revolucionar la quimioterapia. Incluso en el ámbito militar se han llegado a crear, por vía informática, armas biológicas o químicas suficientemente inteligentes para que puedan llegar a matar sólo a soldados y no a las personas civiles.

En fin, todo lo anteriormente citado no es sino un pequeño conjunto de exponentes de los casi realmente impensables desarrollos que se pueden llegar a alcanzar en el terreno de la nanociencia y la nanotecnología, y las repercusiones que ésto puede originar en muy diversos campos y aplicaciones de la economía, la industria y la vida social.

Finalmente no vamos a dejar para la ocasión de señalar algunas direcciones de páginas web en Internet, en las que se puede encontrar abundante información sobre los avances científicos e investigadores que se vienen desarrollando en el campo de la nanociencia y la nanotecnología. Esas direcciones son las siguientes: 1) Cordis: [www.cordis.lu/nanotechnology](http://www.cordis.lu/nanotechnology). 2) National Nanotechnology Initiative: <http://nano.gov>. 3) Sci.nanotech Info.online: [www.nanotech.50megs.com](http://www.nanotech.50megs.com). 4) Nanostructure Science and Technology: <http://itri.loyola.edu/nano/toc.htm>. 5) Institute of Nanotechnology: [www.nano.org.uk](http://www.nano.org.uk). 6) Nanotechnology Research Institute: <http://unit.aist.go.jp/nanotech/index.html>. 7) CSIC: [www.csic.es](http://www.csic.es). 8) Science: [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org). (*Monográfico "nano": 29-Marzo-2002*)