

ARTÍCULO

ACERCANDO LA NANOTECNOLOGÍA A LA SOCIEDAD: LA EXPOSICIÓN “UN PASEO POR EL NANOMUNDO”

Pedro A. Serena

Acercando la Nanotecnología a la sociedad: la exposición "Un paseo por el nanomundo"

Resumen

La Nanotecnología es una disciplina emergente que revolucionará muchos sectores económicos propiciando cambios sociales de gran envergadura. Sin embargo, en los últimos años han aparecido ciertas incertidumbres asociadas a los riesgos potenciales de diversa naturaleza, causadas por nanopartículas, nanomateriales y nanodispositivos. En este escenario, las actividades dirigidas a formar e informar a los ciudadanos son claves para que una Nanotecnología responsable tenga un correcto desarrollo. Tanto en España, como en Iberoamérica, se están dando los primeros pasos para poner en marcha iniciativas de educación y divulgación en Nanotecnología. Entre estas iniciativas podemos destacar la organización de exposiciones de imágenes que reflejan la belleza del nanomundo. Este artículo muestra cómo se ha acometido el diseño de estas exposiciones, y demuestra la importancia de diseñar de manera adecuada estas actividades teniendo en cuenta los obstáculos epistemológicos y pedagógicos existentes para la divulgación de la Nanotecnología, contando con la participación de expertos en ciencia y en comunicación de la ciencia.

Palabras clave: Nanotecnología; Nanociencia; divulgación; exposición.

Bringing nanotechnology and society: the exhibition "A walk along the nanoworld"

Abstract

Nanotechnology is an emerging field that will revolutionize many economic sectors causing deep societal changes. However, many uncertainties associated to the potential risks of nanoparticles, nanomaterials and nanodevices have emerged over the last ten years. In this new scenario, scientific education and dissemination are key issues for the correct implementation and development of responsible Nanotechnology. Latin-American countries, Portugal and Spain, are now promoting several initiatives in education and dissemination of Nanotechnology. These initiatives include the organization of exhibitions where beautiful nanoworld landscapes are shown to draw the attention of the public. This article describes the different steps leading to the assembly of the exhibition "A walk around the nanoworld". This experience shows that these activities must be designed by experts in science and scientific communication taking into consideration the set of epistemological

and pedagogical obstacles nanotechnology dissemination.

Keywords: Nanotechnology; Nanoscience; dissemination; exhibition.

Introducción

La Nanociencia y la Nanotecnología se han situado a lo largo de los últimos veinte años en la vanguardia del conocimiento (Acharya, *et al.*, 2011). Sin embargo, ya ha transcurrido más de medio siglo desde que R. Feynman anticipase la posibilidad de dominar la materia a nivel atómico y molecular (Feynman, 1960) y el propio término “nanotecnología” ha cumplido 38 años desde que fue acuñado por N. Taniguchi (Taniguchi, 1974). También hemos presenciado la imparable miniaturización de los componentes electrónicos tal y como predijo G. Moore (Moore, 1965), se han desarrollado los denominados microscopios de proximidad (SPM, del inglés *Scanning Probe Microscopy*) (Binnig, *et al.*, 1999), y hemos asistido al descubrimiento de los fullerenos (Sheka, 2011), de los nanotubos de carbono (Iijima, 1991) y del versátil grafeno (Castro Neto, 2009). No cabe duda: la Nanotecnología ha recorrido ya un largo camino.

La Nanociencia está orientada a entender el fascinante comportamiento de la materia en la denominada “nanoescala” o “nanomundo”, términos que se refieren a un intervalo de longitudes o tamaños arbitrariamente definido entre un nanómetro y unos pocos cientos de nanómetros. La Nanociencia tiene como objetivo comprender cómo se comportan e interaccionan entre sí distintos tipos de “nanoobjetos” como átomos, moléculas, cadenas de ácido desoxirribonucleico (ADN), proteínas, virus, fullerenos, láminas de grafeno, nanotubos de carbono, nanopartículas, monocapas autoensambladas, nanohilos semiconductores, puntos cuánticos, anticuerpos, membranas celulares, ribosomas, liposomas, dendritas, etc. La lista es interminable y continúa creciendo. Por su parte, la Nanotecnología tiene como objetivo utilizar los conocimientos aportados por la Nanociencia para propiciar la aparición de nuevos procesos de fabricación así como productos y aplicaciones con propiedades mejoradas o radicalmente nuevas. En el resto de este artículo nos referiremos a la Nanotecnología como término que engloba los aspectos básicos y aplicados.

La característica más importante de la Nanotecnología es su multidisciplinariedad, pues se trata de una disciplina en la que convergen de una manera abierta las ideas, técnicas e intereses de químicos, biólogos, físicos, médicos e ingenieros, generando insospechadas propuestas. En este contexto multidisciplinar, la física aporta otro de los ingredientes clave de la Nanotecnología, a través de la mecánica cuántica, que permite entender la conexión existente entre el tamaño, forma y composición de un nanoobjeto y sus propiedades (Loss, 2009). De esta manera, controlando con precisión nanométrica la geometría y composición de un material es posible “sintonizar” sus propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas, y mecánicas, entre otras, en un amplio rango de valores. Un tercer ingrediente de la Nanotecnología lo aporta la biología, fuente inagotable de

“bioinspiración”, y de la que podemos aprender cómo se producen los procesos de reconocimiento y autoensamblado molecular para intentar imitar diferentes procesos que se producen en la naturaleza para producir sistemas multifuncionales de gran complejidad.

Del laboratorio al mercado

La Nanotecnología se incorporará a las industrias usando tanto procesos de tipo “descendentes” o “top-down” en los que se parte de sistemas de gran tamaño para conseguir estructuras nanométricas, como procesos “ascendentes” o “bottom-up”, en los que a partir de pequeñas unidades podemos ensamblar sistemas más y más complejos (Drexler, 1986). En los laboratorios de todo el mundo continuamente se proponen cientos de estrategias que podrían saltar a los centros productivos, si son económicamente rentables. Las industrias del futuro basarán su estrategia productiva en adecuadas combinaciones de técnicas tanto ascendentes como descendentes, buscando productos novedosos, la optimización de los recursos y el abaratamiento de los costes de producción. La **Figura 1** muestra las áreas de aplicación en las que la Nanotecnología tendrá más impacto (Correia, *et al.*, 2007). Sin embargo, esta disciplina requiere aún de una etapa de maduración, que permita superar los problemas que aparecen cuando se desea pasar desde el modelo o prototipo de laboratorio a la producción a escala industrial. Aunque resulta evidente que queda un largo y dificultoso camino por recorrer, la Nanotecnología ya está generando un negocio considerable (Xue, 2011) cuyos beneficios están desigualmente repartidos pues se concentran en las empresas de aquellos países que lideran la investigación en esa disciplina y que apuestan por su transferencia al sector productivo (Delgado, 2008).



Figura 1. Sectores económicos sobre los que la nanotecnología tendrá un mayor impacto.

Las grandes expectativas que la Nanotecnología ha creado han propiciado su impulso por parte de gobiernos y empresas de todo el mundo. La [Iniciativa Nacional de Nanotecnología](#) (NNI) de los EE.UU., fue el primer programa de grandes dimensiones que ha permitido que dicho país haya alcanzado un reconocido liderazgo en este campo (Kleike, 2009). Iniciativas y programas similares han sido puestas en marcha en la mayor parte de los países desarrollados o con economías emergentes, tanto por los gobiernos como por empresas. La Unión Europea ha incluido de forma preferente la Nanotecnología en sus dos últimos “Programas Marco” y también le da un lugar preferente en el próximo, denominado

“Horizonte 2020”. En España, la Nanotecnología ha estado considerada como área estratégica en la planificación científica entre 2004 y 2011 (Serena, 2009; Chacón, *et al.*, 2011). Planes similares, más o menos ambiciosos, se han dado en países de Iberoamérica como Brasil, Argentina, México, Venezuela, Chile o Cuba.

La llegada al mercado de bienes de consumo basados en la Nanotecnología se van a encontrar en su camino con problemas relacionados con aspectos éticos, medioambientales, sanitarios, de seguridad laboral, legales, etc. (Sweeney, *et al.*, 2003; Shatkin, 2008) Además hay que tener en cuenta otro importantísimo factor: la percepción que la población tiene o puede llegar a tener sobre las aplicaciones de la Nanotecnología (Burri, *et al.*, 2008; Satterfield, *et al.*, 2009; Currall, 2009). A lo largo de la última década se ha detectado como la población ha ido cambiando su percepción sobre la Nanotecnología pasando de tener una visión indiferente o positiva a otra en la que aparecen incertidumbres o rechazos. Incluso desde algunos sectores se ha solicitado una moratoria de la comercialización de productos derivados de la Nanotecnología. Como reacción a esta preocupación, diversos gobiernos y organismos han incluido en su agenda el desarrollo y la aplicación de códigos de conducta relacionados con la investigación en Nanotecnología y en el empleo de nanopartículas y otros nanomateriales (Comisión Europea, 2008), la puesta en marcha de programas dedicados a la “nano-eco-toxicología” (Kahru, *et al.*, 2010), y han propiciado diferentes estudios de opinión y percepción pública y sobre la gobernanza de la Nanotecnología (Vessuri, 2009).

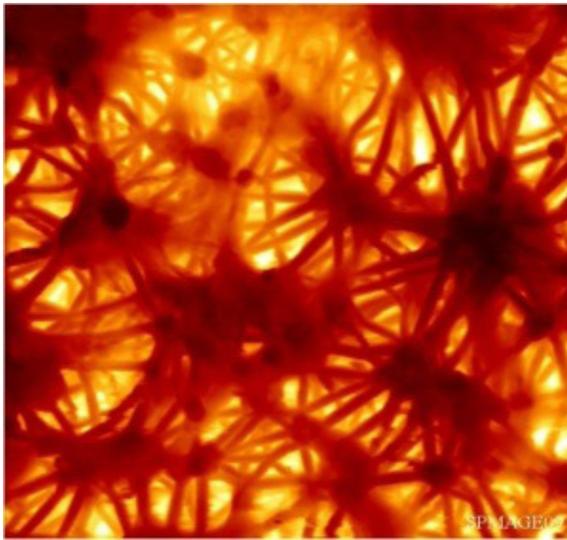
La necesidad de la “nanoeducación” y la “nanodivulgación”

Los ciudadanos deben estar informados de las ventajas de los productos y servicios basados en la Nanotecnología a la vez que deben tener elementos de juicio para la valoración de sus posibles riesgos. En este nuevo contexto, la divulgación y la enseñanza de la Nanotecnología, en contextos tanto formales como informales, se han convertido en factores clave para su adecuada implantación y desarrollo (Bonazzi, *et al.*, 2010). Por otra parte es necesario perfilar la profesión de “nanotecnólogo” que será cada vez más demandada por las empresas. Siguiendo la estela de los países pioneros en el diseño de las estrategias en “nanoeducación”, como [EE.UU](#) o Taiwán (Chih-Kuan, 2006), un buen número de naciones han establecido programas específicos que cubren tanto la educación formal (con la puesta en marcha de programas de licenciatura, maestría y doctorado en Nanotecnología o la inserción de contenidos de esta disciplina en educación primaria o secundaria) como la educación informal y la divulgación a través de museos de la ciencia, ferias de la ciencia, exposiciones itinerantes, etc.

Las iniciativas dedicadas a divulgación de la Nanotecnología han puesto de manifiesto que la comunicación de sus contenidos tiene algunos problemas que deben tenerse en cuenta a la hora del diseño de actividades de divulgación (Batt, *et al.*, 2008; Bonazzi, *et al.*, 2010; Tagueña, 2011).

Estos obstáculos serían:

- Se trata de una temática muy extensa en la que conviven conceptos, metodologías, técnicas y campos semánticos muy diferentes;
- Se trabaja en una escala de tamaños que requiere una cierta capacidad de abstracción por parte del receptor del mensaje, pues las entidades que se estudian no se pueden ver a simple vista o mediante microscopios ópticos con los que el público está más familiarizado;
- Muchas de las propiedades de los nanoobjetos se explican mediante conceptos propios de la mecánica cuántica, disciplina que está muy alejada de la intuición desarrollada por la mayor parte de la población que está más familiarizada con la fenomenología propia del mundo macroscópico;
- Se requiere la utilización de comparaciones adecuadas o modelos que faciliten la comprensión de los fenómenos en la nanoescala.



El mundo de Nanogoo - Andrzej Sikora

Sin embargo, no todo son inconvenientes, ya que el carácter multidisciplinar de la Nanotecnología y su ámbito multisectorial de aplicación permiten proponer numerosísimos ejemplos cercanos a la vida cotidiana de la población: materiales de uso en automoción, en el sector textil o en el deporte, nuevos dispositivos electrónicos, nuevas formas de detección y tratamiento de enfermedades, fuentes alternativas de transformación y almacenamiento de energía, etc. La Nanotecnología permite acercar a la población contenidos científicos de muy diversa

índole, por lo que es un instrumento de gran utilidad para incentivar la curiosidad y el interés por la ciencia en los más jóvenes, y para fomentar nuevas vocaciones científicas.

Por lo tanto la divulgación de la Nanotecnología constituye un reto de cierta complejidad que es necesario abordar de una manera planificada, desde una perspectiva multidisciplinar y apoyándose en una gran variedad de canales existentes: folletos, guías, libros divulgativos, documentales, debates y programas monográficos de radio y televisión, modelos y maquetas tridimensionales, exposiciones en museos de la ciencia o en museos móviles, videojuegos, concursos, visitas guiadas a centros de investigación, páginas web de contenido educativo o divulgativo, blogs, redes sociales, etc.

En lo que a España respecta, durante la última década, entidades como la [Fundación](#)

[Española de Ciencia y Tecnología \(FECYT\)](#) o el [Consejo Superior de Investigaciones Científicas \(CSIC\)](#) han impulsado, con cierta planificación y razonables recursos económicos, varios programas destinados al aumento de la cultura científica de la población (Fernández-Bayo, *et al.*, 2011). Sin embargo las iniciativas específicamente dirigidas a divulgar contenidos propios de la Nanotecnología han sido bastante esporádicas y han estado poco coordinadas, a pesar del carácter estratégico que ha tenido esta disciplina en la política científico-tecnológica del país (Tutor, *et al.*, 2011; Serena, 2009). Como ejemplo citaremos que únicamente se han publicado un puñado de libros y unidades didácticas relacionados con la divulgación de la Nanotecnología (Martín-Gago, *et al.*, 2008; Arcos, 2008; Menéndez, 2010; Serena, 2010; Martínez-Navarro, *et al.*, 2011). También se ha publicado un buen número de artículos en revistas de la divulgación científica, en periódicos generalistas, y en diversas páginas web. Por otro lado, dado que los programas de televisión dedicados a ciencia y tecnología son relativamente escasos, la presencia de la Nanotecnología en reportajes y programas de televisión ha sido escasa (Tutor, *et al.*, 2011). En general, esta situación es similar, en mayor o menor medida, en todos los países Iberoamérica tal y como se desprende de los informes publicados por la Red “José Rodríguez Leite” de [Formación y Divulgación en Nanotecnología \(NANODYF\)](#) del Programa CYTED, red que proporciona visibilidad a todos los esfuerzos realizados en Iberoamérica relacionados con la formación y la divulgación de la Nanotecnología.

Entre las actividades de divulgación llevadas a cabo en España en los últimos años podemos destacar la organización de concursos y exposiciones que han permitido acercar contenidos relacionados con la Nanotecnología a la sociedad. Por ejemplo, desde el año 2004, el [Certamen Nacional de Fotografía Científica \(FOTCIENCIA\)](#), organizado por la FECYT y el CSIC, cuenta con una sección de imágenes de microscopía en la que aparecen bellos ejemplos de nanoestructuras y nanoobjetos. Hay que mencionar que las diferentes ediciones del concurso FOTCIENCIA se han transformado en varias exposiciones itinerantes que recorren diversas localidades españolas. En el año 2007 se puso en marcha el [Concurso Internacional de imágenes SPM \(SPMAGE\)](#) en el que únicamente participaban imágenes obtenidas con microscopios SPM. Este concurso fue organizado por investigadores de la Universidad Autónoma de Madrid y del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid del CSIC, con el apoyo de varios patrocinadores. En 2009 se celebró una segunda edición con mayor número de participantes. En conjunto más de medio millar de imágenes participaron en las dos ediciones. Aunque el concurso SPMAGE se convirtió en un referente mundial, los problemas de financiación hicieron imposible convocar la tercera edición en 2011 aunque es probable que ésta se pueda llevar a cabo en 2013. Esto sirve de ejemplo para ilustrar como la crisis económica ha afectado a la organización de actividades de divulgación científica.

Las exposiciones de imágenes como recurso divulgativo

Las dos ediciones celebradas hasta la fecha del concurso SPMAGE sirvieron para acumular un banco de imágenes de gran belleza. Como ejemplo, la **Figura 2** muestra las imágenes que consiguieron el primer premio en cada una de las dos ediciones. Dado el poder visual de las imágenes recibidas se consideró oportuno organizar una exposición con las 50 imágenes finalistas de la edición de 2007 del concurso SPMAGE. Así nació la exposición "Un viaje al nanomundo" que fue recorrió varias localidades españolas entre 2008 y 2010. Dicha exposición contó con el apoyo de FECYT para la impresión y enmarcado de las imágenes, la adquisición de cajas de transporte y la elaboración de un sencillo catálogo. Aunque dicha exposición tuvo una buena acogida no fue planteada con un diseño adecuado, con claros objetivos pedagógicos y divulgativos, ya que se limitaba a exponer todas las imágenes finalistas sin establecer un discurso lógico coherente. La exposición mostraba una secuencia de hermosos paisajes del nanomundo que sorprendían al espectador y la información sobre la nanotecnología se limitaba a un par de paneles que contenían datos e imágenes de una forma muy abigarrada. A pesar de su éxito, los organizadores eran conscientes de las limitaciones y fallos de la exposición.

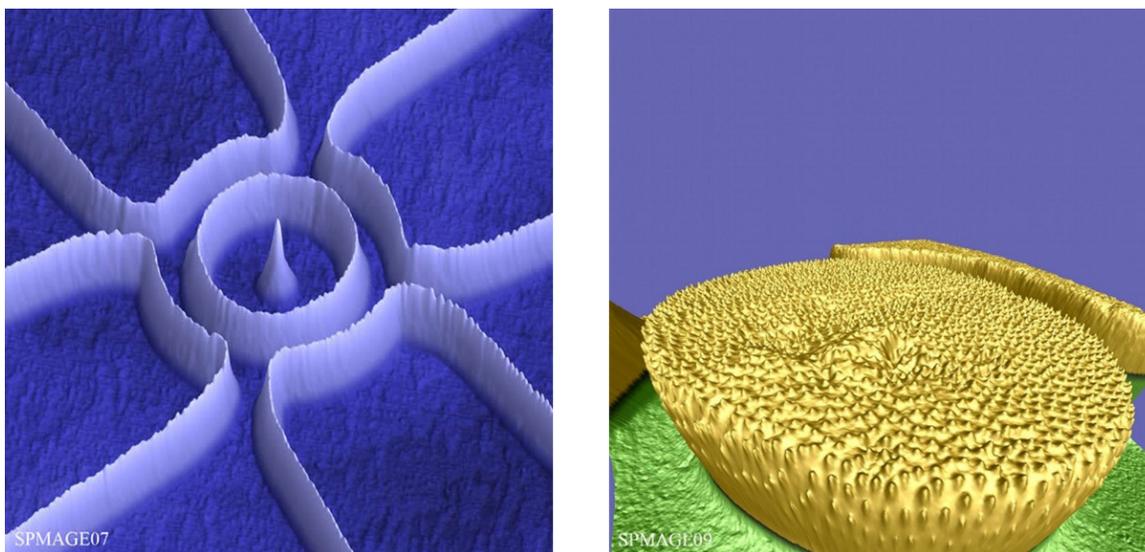


Figura 2. Imágenes ganadoras de las ediciones de los años 2007 y 2009 del Concurso Internacional de Imágenes SPM (SPMAGE). Izquierda: "Nano-anillos" de Andreas Fuhrer (ETH, Zurich, Suiza). Derecha: "Góbulos rojos infectados por malaria (Plasmodium malariae)" de Li Ang (National University of Singapore, Singapur).

Tras la edición del año 2009 del concurso SPMAGE, el conjunto de imágenes disponibles aumentó considerablemente, por lo que se rediseñó completamente la primera exposición para dar lugar a una nueva denominada "Un paseo por el nanomundo", que comenzó su andadura en enero de 2011 sin ningún apoyo económico. Esta nueva exposición muestra una selección de las imágenes de las dos ediciones del concurso SPMAGE agrupando 50 imágenes en varios bloques

temáticos con el fin de dar coherencia al conjunto de obras expuestas y proporcionar una línea argumental al visitante. Los bloques temáticos tratan del mundo atómico y molecular, los nuevos materiales, la nanoelectrónica del futuro, la nanomedicina, y los métodos de nanofabricación. Cada bloque temático está precedido por un panel que proporciona al visitante la información precisa para contextualizar las imágenes. Dichos paneles han sido diseñados con la ayuda de expertos en comunicación que han elegido los fondos, tipo y tamaño de letra, extensión de los textos, etc. con el fin de ser atractivos al público. En la **Figura 3** se muestran, a modo de ejemplo, cuatro de estos paneles informativos.

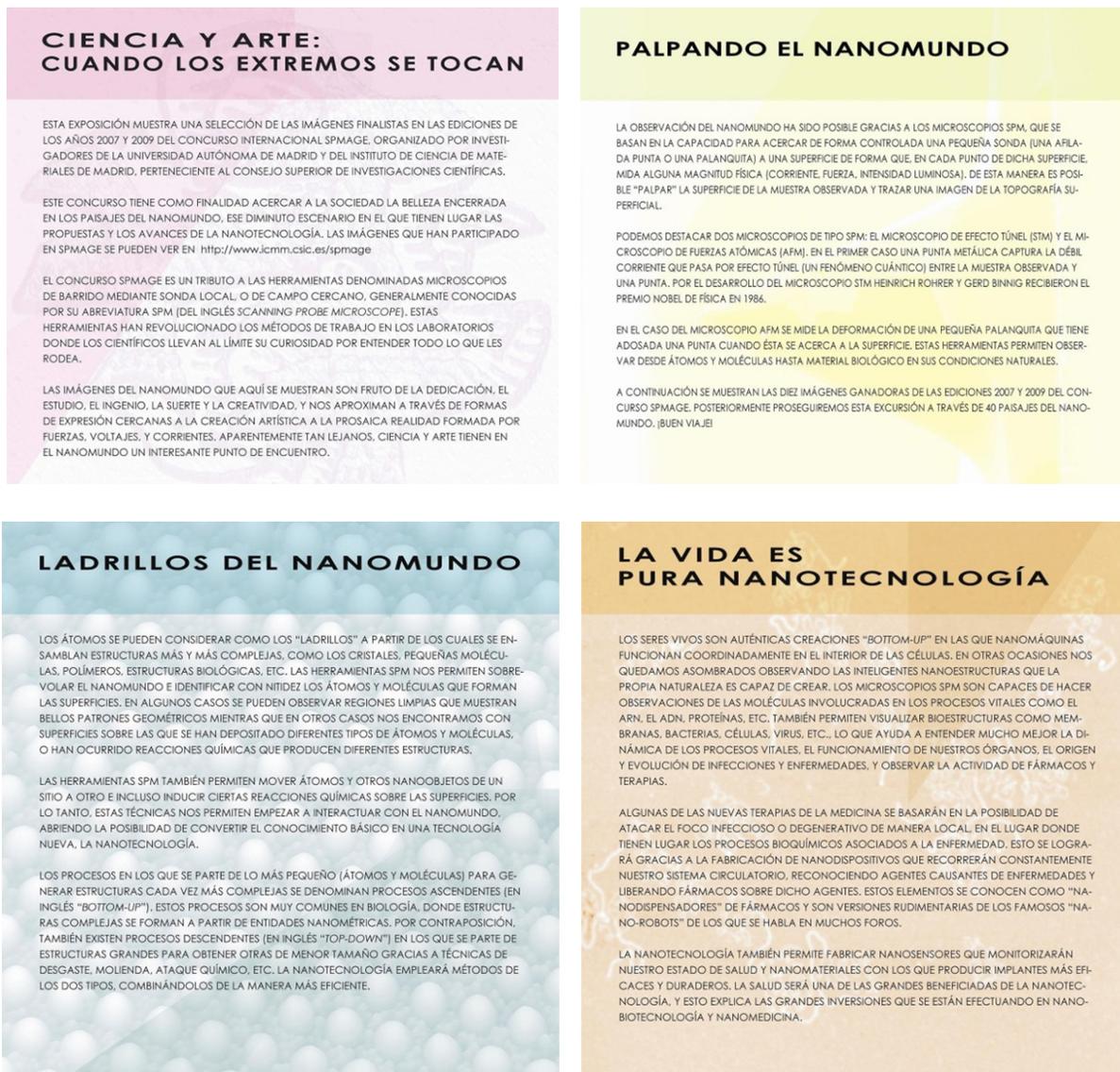


Figura 3. Ejemplo de cuatro paneles didácticos que acompañan al conjunto de imágenes de la exposición "Un paseo por el nanomundo"

Para reforzar su carácter didáctico, la exposición también incluye varios paneles explicativos que tienen como finalidad aportar al visitante una serie de conceptos básicos de la Nanotecnología: el significado de la nanoescala, su carácter multidisciplinar, los efectos de tamaño, el funcionamiento

de los microscopios SPM, los sectores de aplicación de la Nanotecnología y su impacto económico, así como los beneficios y posibles problemas que plantean los nanoproductos, etc. Dichos paneles se han diseñado con las mismas premisas empleadas para diseñar los paneles que introducen cada bloque temático. La exposición también cuenta con un método de valoración por parte de los visitantes, que voluntariamente participan en una encuesta de satisfacción en la que se les pregunta por la calidad de las imágenes, de las explicaciones de cartelas y paneles, etc.

Por lo general las exposiciones tienen una duración tres a cuatro semanas e incluyen una serie de actividades complementarias que van más allá de la mera exhibición de las imágenes. Entre estas actividades podemos destacar la organización de una jornada de inauguración en la que se imparten una o dos conferencias divulgativas y se lleva a cabo una visita guiada. Una de las conferencias suele estar dirigida al público en general mientras que la otra conferencia y la visita guiada están orientadas principalmente a estudiantes de bachillerato, a profesores de educación secundaria y a los monitores que suelen estar presentes durante la exhibición. Es importante contar con la presencia de profesores de secundaria en estas conferencias y visitas guiadas ya que con ello se logra un efecto multiplicativo, pues muchos de ellos acuden posteriormente a la exposición con sus alumnos y permiten adaptar a su nivel académico los contenidos de la misma. Además, en las conferencias dirigidas al profesorado se muestran los contenidos didácticos existentes en diferentes redes o repositorios para que puedan ser usados posteriormente en el aula. Sin duda alguna la organización de la exposición “Un paseo por el nanomundo” ha supuesto un salto cualitativo con respecto de su predecesora. La **Figura 4** muestra una instantánea de uno de los montajes de la exposición.



Figura 4. Aspecto de la exposición “Un paseo por el nanomundo” celebrada en el Museo Etnográfico de Castilla-León, Zamora (España) durante el año 2011.

Las exposiciones “Un vistazo al nanomundo” y “Un paseo por el nanomundo” han recorrido un buen número de ciudades españolas a lo largo de los últimos cinco años, tal y como se muestra en la **Figura 5**. Además es importante destacar que una copia de la exposición “Un vistazo al nanomundo” se exhibió en México y que, en la actualidad, otras tres copias de la exposición “Un paseo por el nanomundo” están recorriendo diferentes localidades de Bulgaria, Colombia y México, gracias a la colaboración con entidades como la Red NANODYF. En conjunto estas exposiciones han permitido que más de 8000 personas, de las que un elevado porcentaje son estudiantes de educación secundaria, hayan entrado en contacto con la nanotecnología a través de la potencia visual que nos proporciona el nanomundo. Además, esta aproximación ha hecho que otros colectivos como el de los artistas se muestren interesados por la ciencia.

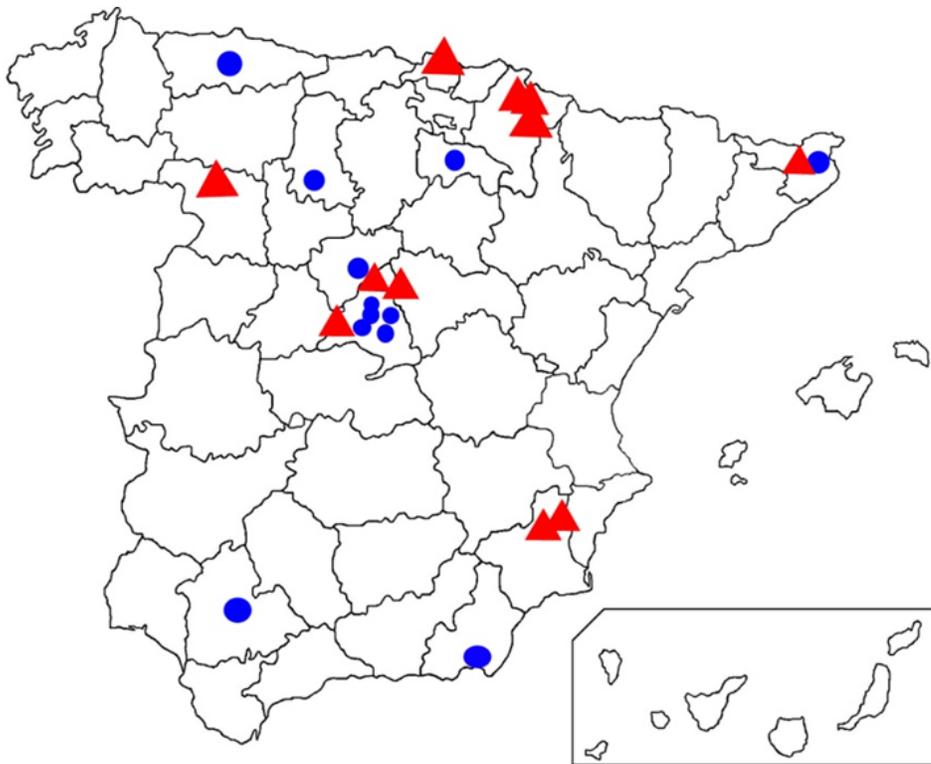
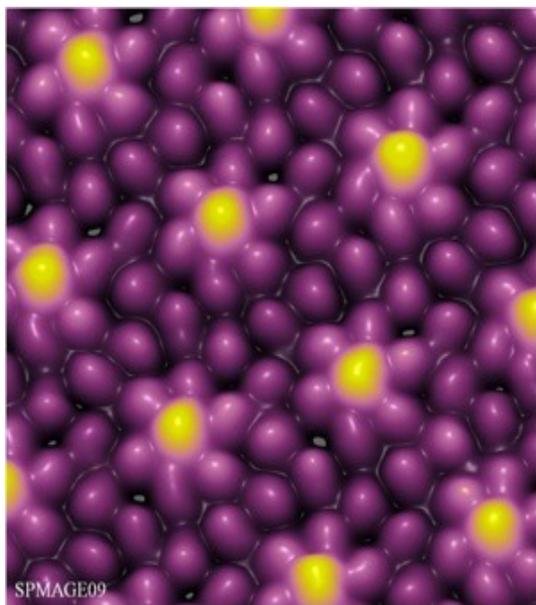


FIGURA 5. Ciudades en las que se han mostrado las exposiciones “Un vistazo al nanomundo” (2007-2010) (círculos azules) y “Un paseo por el nanomundo” (2011) (triángulos rojos).

Se debe destacar que durante los últimos tres años se han puesto en marcha las exposiciones “TecnoRevolución” patrocinada por la Obra Social “La Caixa” y “¡Bienvenido a la Nanodimensión!” organizada por el Instituto de Nanociencia de Aragón (INA), que también incluyen algunas imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica o SPM. Sin embargo en estos momentos ningún museo de la ciencia, de los muchos que se han creado en España en las dos últimas décadas, mantiene una exposición permanente dedicada a nanotecnología, aunque es posible que la situación cambie si el flamante Museo Nacional de Ciencia y Tecnología ubicado en su nueva sede de La Coruña incluye algunas actividades relacionadas con la nanotecnología.



Nanovioleta - Bruno de la Torre Cerdeño

Conclusión

Se ha puesto de manifiesto el papel central que jugará la Nanotecnología en nuestro futuro a medio y largo plazo gracias a la explotación de su carácter multidisciplinar, de la capacidad de sintonizar las propiedades de la materia a través de los efectos cuánticos, y de la adecuada combinación de técnicas de fabricación ascendentes y descendentes. Las innumerables aplicaciones prometidas por la Nanotecnología han propiciado las inversiones con el consiguiente aumento de publicaciones, patentes y productos comercializados. Sin embargo, en los últimos años han aparecido ciertas incertidumbres

asociadas a los posibles riesgos de los nanomateriales y nanodispositivos. Este nuevo contexto ha servido para incentivar todas las actividades dirigidas a propiciar información sobre los avances de la Nanotecnología, sus implicaciones, sus riesgos y el control de los mismos, utilizando todos los formatos y canales disponibles tanto en contextos de educación formal como de educación no formal.

Aunque en España no se han hecho aún los esfuerzos necesarios en el ámbito de la nanoeducación, se han organizado diversas actividades poco interconectadas entre sí. Entre estas actividades destacan la organización del concurso internacional SPMAGE y de las dos exposiciones "Un vistazo al nanomundo" y "Un paseo por el nanomundo", que han tenido una gran acogida. La experiencia adquirida durante la organización de estas actividades demuestra que para lograr una eficiente transmisión de contenidos y emociones a los participantes en las actividades de divulgación es muy importante diseñar cuidadosamente los materiales expositivos, teniendo en cuenta los obstáculos existentes para la divulgación de la nanotecnología y contando con la participación de un equipo multidisciplinar formado por científicos y expertos en comunicación, divulgación y didáctica de la ciencia.

Agradecimientos. El autor agradece el apoyo del proyecto "Nanoobjetos" financiado por la Comunidad Autónoma de Madrid (S2009/MAT-1467). También a A. Asenjo, A. Baró, J. Gómez y J.M. Gómez-Rodríguez, su esfuerzo como co-organizadores del concurso SPMAGE y de las exposiciones "Un vistazo al nanomundo" y "Un paseo por el nanomundo", y a J. A. Lleó y M^a. A. Zamorano, miembros de la Asociación ARTYSCIEN9, por su contribución en el diseño de la exposición "Un paseo por el nanomundo" y por organizar en Bulgaria la exhibición de la exposición

“Un paseo por el nanomundo”. El autor también expresa su agradecimiento a la Red NANODYF por facilitar los contactos para exhibir en Colombia y México la exposición “Un paseo por el nanomundo”.

Referencias

ACHARYA, A., Kamilla, S. K., Nayak, M. K. and Roy, G. S. *Nano the revolution of 21st Century*, Lat. Am. J. Phys. Educ., Vol. 5, 2011, pp. 418-422.

DE LOS ARCOS, M. Teresa. *La era del camaleón*. Madrid. Editorial Síntesis, 2008.

BATT, Carl A., Waldron Anna M., and Broadwater, Natalie. *Number, scale and symbols: the public understanding of nanotechnology*, J. Nanopart. Res., vol.10, 2008, pp. 1141-1148.

BINNING, G. and Rohrer, H. *In touch with atoms*, Rev. Mod. Phys. vol. 71, 1999, pp. S324–S330.

BONAZZI, Matteo, von Bose, H. and Tokamanis, C. *Communicating Nanotechnology: Why, to whom, saying what and how?*, 2010. European Commission, Bruselas. Disponible en: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/communicating-nanotechnology_en.pdf

BURRI, R. Valérie and Belluci, S. *Public perception of nanotechnology*, J. Nanopart. Res. Vol. 10, 2008, pp. 387-391.

CASTRO Neto, A. H., Guinea, F., Peres, N. M. R., Novoselov, K. S. and Geim, A.K. *The Electronic Properties of Graphene*, Rev. Mod. Phys. 81, 2009, pp. 109-162.

CHACÓN, Carmen, Estevao, V., Narros, C., Correia, A. and Serena, P. A. *Nanotechnology in Spain: Current situation and future challenges*, Converttech & E-Print Vol.1, Núm. 6, 2011, pp. 26-32.

CHIH-KUAN, Lee, Tsung-Tsong, W., Pei-Ling, L. and Hsu, S. *Establishing a K-12 nanotechnology program for teacher professional development*, IEEE Trans. on

Education vol. 49, 2006, pp. 141 – 146.

Comisión Europea. *Recommendation on a code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research*, C(2008) 424.

CORREIA, A., Pérez, M., Sáenz, J.J. y Serena, P.A. *Nanoscience and nanotechnology: driving research and applications*, Phys. Stat. Sol. (RRL) vol. 1, 2007, pp. A68-A72.

CURRALL, Steven C. *New insights into public perceptions*, Nature Nanotechnology vol. 4, 2009, pp. 79-80.

DELGADO, G. Carlo. *Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*, Ceiiich, UNAM, México, 2008.

DREXLER, K. Eric. *Engines of creation. The coming era of nanotechnology*, Anchor Books, New York. 1986

FERNÁNDEZ-Bayo, I., González Salomone, M. y Branco, J. *Diez años de divulgación científica en España*, 2011, FECYT, Madrid. Disponible en: <http://www.fecyt.es/fecyt/docs/tmp/1081372493.pdf>

FEYNMAN, Richard. *There`s a plenty of a room at the bottom*, Engineering and Science, vol. 23, pp. 22-36 (1960), Disponible en: <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>

IJIMA, Sumio. "Helical micro-tubules of graphitic carbon", Nature, vol. 345, 1991, pp. 56-58.

KAHRU, A. and Dubourguier HC. *From ecotoxicology to nanoecotoxicology*, Toxicology, vol. 269, 2010, pp. 105-119.

KLEIKE, Jerrod.W. (Ed.) *National Nanotechnology Initiative: Assessment and Recommendations*, Nova Science Pub. Inc., Nueva York. 2009.

LOSS, D. *Quantum phenomena in Nanotechnology*, Nanotechnology vol. 20, 2009, p. 430205.

MARTÍNEZ-Navarro, F. y Turégano, J. C. *Unidad Didáctica 'Los polímeros y la nanotecnología'*, 2011. Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información del Gobierno de Canarias, Las Palmas de Gran Canaria. Disponible en: http://www.cienciasmc.es/web/pdf/u8_nuevos_materiales.pdf

MARTÍN-Gago, J. A., Casero, E. Briones, C., y Serena, P. A. *Unidad Didáctica Nanociencia y Nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro*, 2008, FECYT, Madrid. Disponible en: <http://www.oei.es/salactsi/udnano.pdf>

MENÉNDEZ, Amador. *Una revolución en miniatura: Nanotecnología al servicio de la humanidad*, Universitat de València, Valencia. 2010.

MOORE, Gordon E. *Cramming more components onto integrated circuits*, 1965. Electronics, vol. 38, pp. 114-117, texto. Disponible en: <http://download.intel.com/research/silicon/moorespaper.pdf>

SATTERFIELD, T., Kandlikar, M., Beaudrie, C. E. H., Conti, J. and Harthorn, B.H. *Anticipating the perceived risk of nanotechnologies*, Nature Nanotechnology, vol. 4, 2009, pp. 752-758.

SERENA, Pedro. A. *La implantación de la nanotecnología en España: muchas luces y alguna sombra*, 2009. Mundo Nano Vol. 2, Núm. 2, pp. 74-90. Disponible en: <http://www.mundonano.unam.mx/>

— *¿Qué sabemos de la Nanotecnología?*, La Catarata - CSIC, Madrid. 2010.

SHATKIN, J. Anne. *Nanotechnology: Health and Environmental Risks (Perspectives in Nanotechnology)*, CRC Press, Boca Raton. 2008.

SHEKA, Elena. *Fullerenes: Nanochemistry, Nanomagnetism, Nanomedicine, Nanophotonics*, CRC Press, Boca Raton. 2011.

SWEENEY, Aldrin E., Seal, S. y Vaidyanathan, P. *The promises and perils of nanoscience and nanotechnology: Exploring emerging social and ethical issues*, 2003. Bulletin of Science, Technology & Society vol. 23, pp. 236-245. Disponible

en: http://sudipta-seal.ucf.edu/PDF/BSTS_Education.pdf

TAGÜEÑA, Julia. "El manejo de las escalas como obstáculo epistemológico en la divulgación de la nanociencia", *Mundo Nano*, Vol. 4, Núm. 2, 2011, pp. 83-102. Disponible en: <http://www.mundonano.unam.mx/>

TANIGUCHI, Norio. *On the Basic Concept of 'Nano-Technology'*, Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering (JSPE), vol. 2, 1074, pp. 18-23.

TUTOR, Joaquín y Serena, Pedro. A. *La divulgación y la formación de la nanociencia y la nanotecnología en España: un largo camino por delante*, 2011. *Mundo Nano* vol. 4, num. 2, 48-58. Disponible en: <http://www.mundonano.unam.mx/>

VESSURI, Hebe. *Gobernabilidad del riesgo de la convergencia tecnológica*, 2009. *Tecnología y Construcción*, vol. 25, pp. 79-85. Disponible en: <http://www2.scielo.org.ve/pdf/tyc/v25n3/art07.pdf>

XUE, Andrew. (2011) *Nanotechnology Funding: Corporations Grab the Reins*, Lux Research, Nueva York. 2011.