

UNA EXPERIENCIA EN NANOEDUCACIÓN: EL TALLER “EXPLORANDO EL NANOMUNDO”

A NANOEDUCATION EXPERIENCE: THE WORKSHOP “EXPLORING THE NANOWORLD”

Pedro A. Serena

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), c/ Sor Juana Inés de la Cruz 3, 28049-Madrid, España

(Recibido: Julio/2013. Aceptado: Noviembre/2013)

Resumen

Este trabajo presenta el taller “Explorando el Nanomundo” dirigido a participantes de edades entre los 8 y 11 años. Dicho taller persigue, a través de la concatenación de varias actividades de ágil desarrollo, que los participantes adquieran unos conocimientos básicos sobre la nanotecnología y sus aplicaciones.

Palabras clave: Nanotecnología, divulgación, formación, taller educativo.

Abstract

This work describes the contents of the educational workshop entitled “Exploring the Nanoworld”, intended for children aged 8 to 12. Through an adequate combination of activities, this workshop aims to teach some fundamental concepts related to nanotechnology and its applications.

Keywords: Nanotechnology, scientific outreach, education, educational workshop.

Introducción

Aunque la nanociencia y la nanotecnología parecen haber surgido con fuerza en los últimos veinte años, la realidad es que ya ha transcurrido más de medio siglo desde que R. Feynman anticipase la posibilidad de dominar la materia a nivel atómico y molecular [1]. El propio término “nanotecnología”, acuñado por N. Taniguchi [2], está a punto de cumplir 40 años. En cualquier caso es indudable que la nanociencia y la nanotecnología han recorrido ya un largo y prometedor camino [3].

La nanociencia busca comprender el comportamiento de la materia en la denominada “nanoescala”, término que se refiere a un intervalo de longitudes o tamaños arbitrariamente definido entre unas décimas de nanómetro y unos centenares de nanómetros. La nanociencia estudia las propiedades de distintas entidades de tamaño nanométrico (“nanoobjetos”), las interacciones entre dichas entidades y su comportamiento ante diferentes perturbaciones exteriores. La nanotecnología aprovecha los conocimientos aportados por la nanociencia para conseguir productos con propiedades mejoradas o radicalmente nuevas. Por lo general se utiliza el término nanotecnología para referirse a los aspectos tanto básicos como aplicados.

La nanotecnología tiene una serie de características que hacen de esta disciplina una apasionante y poderosa rama de la ciencia y la tecnología. Una característica de la nanotecnología es que engloba todo tipo de técnicas que permiten sintetizar y fabricar objetos y materiales con precisión nanométrica tanto en su tamaño como en su forma. Estas técnicas pueden ser tanto “descendentes” o “top-down”, en las que se parte de sistemas de gran tamaño para conseguir estructuras nanométricas, como “ascendentes” o “bottom-up”, en las que a partir de pequeñas unidades podemos ensamblar sistemas más complejos. Mediante el control de la geometría y la composición de un material es posible “sintonizar” sus propiedades en un amplio rango de valores, tal y como predicen las leyes de la mecánica cuántica [4]. Dado que las técnicas de síntesis o fabricación de nanoobjetos pueden ser de origen químico, físico o biológico, la nanotecnología se convierte en un terreno fertilizado por otras ciencias. Esta es otra característica de la nanotecnología: su carácter multidisciplinar.

Otra importante característica de la nanotecnología está relacionada con su impacto sobre prácticamente la totalidad de los sectores productivos [5]. Las grandes expectativas creadas por la nanotecnología han propiciado su impulso por parte de gobiernos de todo el mundo, tanto de

los países más desarrollados como de aquellos con economías emergentes. El principal ejemplo es la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI) de los EE.UU. [6]. Además de la inversión pública, un gran número de empresas han invertido a lo largo de la última década una gran cantidad de recursos en nanotecnología, generando un negocio considerable [7] cuyos beneficios están desigualmente repartidos [8]. En cualquier caso la llegada a gran escala de la nanotecnología las fábricas todavía requiere un periodo de maduración.

La Formación y Divulgación en Nanotecnología

La llegada al mercado de los productos basados en la nanotecnología (“nanoproductos”) va a estar condicionada por una serie de factores relacionados con su impacto medioambiental, su posible toxicidad y sus riesgos durante la manipulación por parte de operarios [9]. Estos factores pueden condicionar la percepción de la sociedad sobre la nanotecnología [10-13]. Aunque la mayor parte de la población desconoce lo que es la nanotecnología, otra parte ha mostrado su rechazo a la misma [13]. Este rechazo parcial e incipiente ha impulsado a gobiernos y organismos al desarrollo de recomendaciones y códigos de conducta, a la puesta en marcha de programas dedicados a la “nano-eco-toxicología” [14], y a potenciar estudios sobre la gobernanza de la nanotecnología [15]. Además se ha comenzado a fomentar la enseñanza de la nanotecnología en contextos formales o informales para que los ciudadanos estén informados de las ventajas e inconvenientes de la nanotecnología y de cómo se gestionan sus riesgos. EE.UU [16], Taiwán [17] o la Unión Europea [18] han puesto en marcha diferentes iniciativas en el ámbito de la “nanoeducación”, que han sido imitadas por otros países. En el caso de Iberoamérica las iniciativas de divulgación y formación pre-universitaria en nanotecnología han sido escasas tal y como se desprende de los informes publicados por la Red “José Rodríguez Leite” de Formación y Divulgación en Nanotecnología financiada por el Programa CYTED [19].

La Comunicación de la Nanotecnología: Dificultades y Ventajas

La divulgación y la formación de la nanotecnología incluyen procesos de comunicación con problemas específicos que deben tenerse en cuenta en el diseño de las distintas actividades divulgativas o formativas [18, 20, 21]. Estos problemas son:

- (i) La temática de la nanotecnología es sumamente extensa e incluye conceptos, metodologías y campos semánticos procedentes de diversas disciplinas;
- (ii) Se trabaja en una escala de tamaños que requiere una cierta capacidad de abstracción por parte del receptor de la información;
- (iii) La dificultad para explicar los denominados efectos de tamaño, en particular los derivados de las leyes poco intuitivas de la mecánica cuántica;
- (iv) Las técnicas de visualización de átomos y moléculas o de fabricación de nanoestructuras se basan en complejos fenómenos físicos y químicos;
- (v) Se requiere la utilización de imaginativas comparaciones y modelos “macroscópicos” que faciliten la comprensión de los fenómenos en la nanoescala.

La comunicación de la nanotecnología también presenta unas ventajas que deben ser aprovechadas. Por un lado es relativamente fácil encontrar ejemplos de “nanoproductos” cercanos a la vida cotidiana de las personas que reciben la información puesto que la nanotecnología ya está presente en muchos ámbitos de aplicación. Otra ventaja que tiene la comunicación de la nanotecnología, sobre todo en el aula, es que está conectada con un buen número de asignaturas por lo que es fácil incluir contenidos de nanotecnología en algunas clases, mostrando a los alumnos pequeñas “píldoras” de ciencia moderna que sirven para actualizar los contenidos de los programas [22]. Finalmente, es muy probable que entre los receptores más jóvenes haya una parte que sienta cierta fascinación por la nanotecnología a través de películas, series de televisión, juegos, etc. En ese caso se debe usar ese interés por la nanotecnología para reforzar el mensaje, fomentando así la curiosidad y el interés por la ciencia entre los más jóvenes.

Por lo tanto, los procesos de formación y divulgación de la nanotecnología constituyen un reto de cierta complejidad que es necesario abordar de una manera planificada, desde una perspectiva multidisciplinaria, apoyándose en la gran variedad de canales de comunicación que ya están disponibles.

Origen y objetivos del taller “Explorando el Nanomundo”

La mayor parte de las actividades de divulgación de la nanotecnología realizadas en España (conferencias, concursos, exposiciones, programas de televisión, entrevistas radiofónicas, libros, etc) ha tenido como destinatario tanto al público adulto en general como a estudiantes de

Educación Secundaria Obligatoria (E.S.O.) y Bachillerato [23]. Prácticamente no se han programado actividades dirigidas a niños y niñas menores de 12 años.

El Museo Nacional de Ciencia y Tecnología de España [24] solicitó el diseño y organización de un taller dirigido a niños y niñas de edades comprendidas entre 8 y 11 años para ser incluido dentro su programa “Charlando con nuestros sabios y Talleres del Museo”. El taller, denominado “Explorando el Nanomundo”, se realizaría en un día sin actividad escolar, en un contexto más lúdico que el del aula del colegio.

El taller persigue, por un lado, los objetivos generales propios de cualquier actividad divulgativa: mostrar lo fascinante que es hacer ciencia y que ésta necesita personas con curiosidad y muy preparadas, mostrar que los conocimientos científicos resultan de gran utilidad para nuestras vidas, y enseñar cómo se desarrolla la actividad científica. Por otro lado el taller se plantea alcanzar una serie de objetivos específicamente relacionados con la comprensión de la nanotecnología. Estos objetivos son:

- (i) Comunicar algunas nociones básicas sobre las escalas de medida adecuadas para observar distintos tipos de objetos.
- (ii) Presentar los constituyentes fundamentales de la materia, átomos y moléculas, sus dimensiones características y la existencia de ciertas reglas (mecánica cuántica) que la naturaleza sigue para combinarlos formando todo lo que nos rodea y a nosotros mismos.
- (iii) Explicar cómo se observa la materia a escala nanométrica, con instrumentos basados en sondas locales como los Microscopios de Fuerzas Atómicas (AFM) y Microscopios de Efecto Túnel (STM), que permiten visualizar y manipular átomos y moléculas.
- (iv) Mostrar que, usando diferentes técnicas, se puede controlar la materia a escalas nanométricas para construir los “nanoobjetos” que pueblan el “nanomundo”.
- (v) Describir la estructura de algunos nanoobjetos (átomos, moléculas, nanotubos, grafeno, fullerenos, nanopartículas, virus, etc.) y sus propiedades.
- (vi) Mostrar algunas de las aplicaciones de la nanotecnología.
- (vii) Mostrar que en España hay grupos de investigación realizando actividades en nanociencia y nanotecnología, y que existen universidades en las que formarse en estas ramas científicas.

- (viii) Adquirir nuevos términos y conceptos, propios de la nanociencia y la nanotecnología, y cuantificar su asimilación por parte de los participantes.

Para alcanzar estos objetivos se debe tener en cuenta diversos factores como son, por un lado, las características de público al que va dirigido (nivel educativo, capacidad de asimilación de nuevos conceptos, nivel de atención, capacidad de expresión, etc.) y por otro lado, los recursos materiales empleados aportar para el desarrollo de la actividad. En este caso se buscó que estos recursos fuesen los mínimos imprescindibles y tuviesen un bajo coste para facilitar la realización del taller.

Descripción de las Actividades del Taller

El taller, de una duración aproximada de 90 minutos, se configura como una gran secuencia didáctica que concatena diversas actividades. El hilo conductor de estas actividades es una presentación que sirve de nexo entre las mismas. Cada actividad se desarrolla de manera ágil, manteniendo el mayor grado de interactividad con los participantes a través de preguntas sencillas, pequeñas experiencias, trabajo en equipo, etc. Cada una de las actividades se diseñó con el fin de alcanzar uno o varios objetivos específicos anteriormente descritos. A continuación se detalla cada una de las actividades que forman el taller.

Actividad I. Recepción de los participantes y definición de equipos.

Se forman equipos formados por 5 ó 6 participantes, que se ubican en mesas de trabajo, y se establecen unas normas mínimas de trabajo y comportamiento. Los equipos son identificados mediante nombres llamativos como “Electrónicos”, “Atómicos”, “Moleculillas”, “Nanoparticulines”, “Grafenianos”, etc.

Actividad II. “Un viaje desde lo más grande a lo más pequeño”.

Esta actividad muestra, mediante una secuencia de imágenes, un viaje desde lo “grande” a lo “pequeño”, hasta llegar a la escala nanométrica. Para entender el concepto de nanómetro se propone una máquina imaginaria “GigaNano” que aumenta o disminuye el tamaño de las cosas un factor 1000. Mediante un juego mental, y aplicando esta máquina imaginaria, se convierte un metro en un milímetro, un milímetro en una micra, y una micra en un nanómetro. En cada etapa de miniaturización se muestran varios objetos o entidades con los tamaños correspondientes.

Actividad III. “El LEGO atómico. ¡Vamos a fabricar moléculas!”

Una vez que se ha llegado a la nanoescala, se menciona que los átomos son los componentes más pequeños de la materia tal y como la conocemos. Se muestra la Tabla Periódica para indicar que existen átomos con propiedades bien distintas y se explica que cada átomo tiene un símbolo. Se realiza una comparación entre la naturaleza y un gran juego de construcción, mostrando como los átomos se combinan entre sí para formar moléculas siguiendo un “manual de instrucciones” que ya conocemos y que se denomina “mecánica cuántica”, sin entrar en mayores detalles. A través de la presentación se asigna a cada tipo de átomo (N, O, C, H) un color que coincide con el de unas bolas de plastilina preparadas en la mesa de trabajo. Cada equipo debe “inventarse” un conjunto de moléculas uniendo bolas de plastilina (átomos) con palillos (enlaces) a partir de su formulación. En este caso trabajamos moléculas sencillas como O_2 , CO_2 , H_2O , NH_3 , CH_4 y C_6H_6 . Al finalizar, cada equipo muestra su propuesta (Figura 1) y se compara con las geometrías reales. Se termina la actividad mostrando modelos de otras estructuras atómicas más complejas.

Actividad IV. “Palpando el macromundo, palpando el nanomundo.”

Se plantea un juego en el que todos los participantes se acercan a una mesa con cuatro cajas cubiertas con una tela opaca en la que se ha practicado una rendija a través de la cual se puede introducir la mano. Los participantes, por orden, deben palpar con los dedos de la mano las diferentes estructuras que hay en cada caja. Cada equipo debe identificar las estructuras palpadas entre una serie de dibujos que se muestran en una hoja de respuestas. Esta práctica permite comprender cómo se puede identificar la forma de una superficie sin utilizar la vista, usando una “sonda”, que en este caso es la mano y una “interacción” que en este caso es el sentido del tacto. Este ejemplo permite mostrar, sin entrar en detalles, el funcionamiento de los microscopios STM y AFM. Se muestran, a continuación, imágenes de superficies, átomos, moléculas, virus, etc. Para finalizar se explica cómo estos microscopios permiten mover átomos sobre una superficie, usando un modelo formado por una superficie de cartón con ondulaciones, varias pelotas de ping-pong que hacen el papel de átomos y la mano, que realiza las funciones de la sonda local.

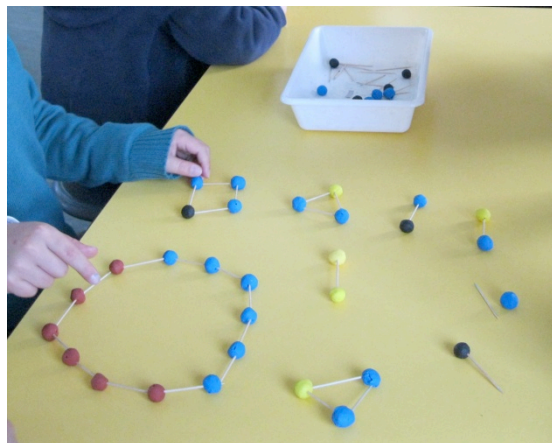


FIGURA 1. Imaginativas propuestas de moléculas desarrolladas por lo participantes del taller.

Actividad V. “Nanoobjetos, los habitantes del nanomundo.”

Se menciona que hay una gran variedad de técnicas que provienen de diversas ramas de la ciencia que permiten obtener estructuras de tamaño nanométrico (nanoestructuras o nanoobjetos) o fabricar materiales que están fragmentados en trozos de tamaño nanométrico (nanomateriales). La actividad pasa a centrarse en los nanotubos de carbono y el grafeno. La estructura del grafeno se explica a través de un acetato sobre el que se ha representado un mallado hexagonal. Posteriormente cada participante debe enrollar el acetato siguiendo un protocolo sencillo. Cada equipo debe producir distintos tipos de “nanotubos de carbono” (Figura 2a) y se enfatiza que los nanotubos de carbono reales son unos mil millones de veces ($1000 \times 1000 \times 1000$) más pequeños que los modelos que se acaban de fabricar. Con el apoyo de la presentación se muestran imágenes reales de superficies de grafeno y de nanotubos de carbono. Con ayuda de la presentación también se muestran algunos productos que ya incorporan nanotubos de carbono. Para finalizar esta actividad se recuerda que la nanoescala está poblada por otros nanoobjetos como nanopartículas, proteínas, virus, etc.

Actividad VI. “La nanotecnología cambiará nuestras vidas.”

Inicialmente se comenta que la nanotecnología ya está incorporada en muchos productos de uso cotidiano, pero que la actividad se centrará en la nanomedicina, aplicación más desconocida para los participantes. Se muestran diversos materiales magnéticos y no magnéticos para comparar cómo reaccionan frente a un imán. Posteriormente se muestra un

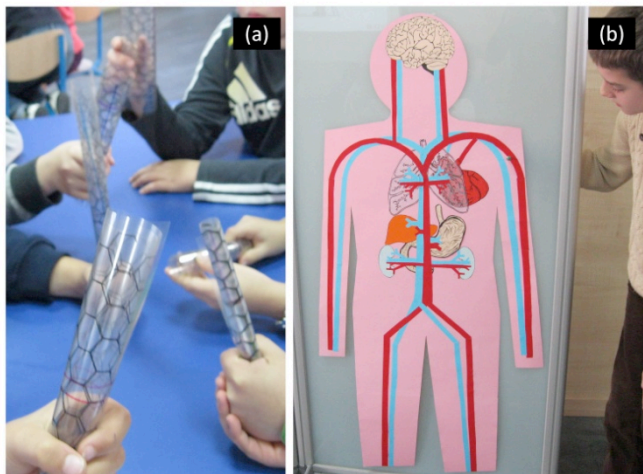


FIGURA 2. (a) Modelos de nanotubos de carbono diseñados por los participantes del taller. (b) Un participante transporta un “nanofármaco” a través del sistema circulatorio con ayuda de un imán.

ferrofluido y se pide a los participantes que observen cómo reacciona en presencia de un imán. Como una aplicación de las nanopartículas magnéticas se explica su papel en la liberación local de fármacos y se realiza una demostración mediante una experiencia en la que se usará una representación de un cuerpo humano, un imán y un clip que transporta un pequeño fragmento de corcho (el “fármaco”). Mediante el imán, que es desplazado sobre la parte trasera del dibujo, los participantes pueden dirigir el “fármaco” al órgano que deseen (Figura 2b).

Actividad VII. “¿Cuánto sabemos ya de nanotecnología?”

Cada participante cumplimenta un sencillo cuestionario que permite determinar si los participantes han captado una serie de conceptos básicos y si la actividad les ha resultado interesante. El taller finaliza con la entrega de algún pequeño obsequio.

Durante el curso escolar 2012-2013 el taller se celebró en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT) y en el Instituto de Enseñanza Secundaria “Joan Miró” (San Sebastián de los Reyes, Madrid), dentro del Programa de Enriquecimiento en Altas Capacidades (PEAC) de la Comunidad Autónoma de Madrid. Se debe destacar que los 80 participantes respondieron correctamente a los cuestionarios

planteados y que mostraron una satisfacción muy alta por el contenido y organización de la actividad.

Conclusiones

En este trabajo se ha puesto de manifiesto el papel central que jugará la nanotecnología en el futuro, gracias a innumerables aplicaciones que han propiciado las inversiones de gobiernos y empresas. Sin embargo, en los últimos años han aparecido ciertas incertidumbres asociadas a los posibles riesgos de los nanomateriales y nanodispositivos. Este nuevo contexto ha incentivado múltiples iniciativas de divulgación y formación relacionadas con la nanotecnología. Sin embargo, muchas de estas actividades se han dirigido a un público adulto o a estudiantes de educación secundaria, mientras que las iniciativas dirigidas a niños y niñas de edades inferiores a los 12 años han sido por general escasas por suponer un considerable reto en el ámbito de la divulgación. Por esta razón se ha planteado el taller “Explorando el Nanomundo” dirigido a niños y niñas con edades comprendidas entre los 8 y 11 años. Dicho taller persigue, a través de la concatenación de varias actividades, que los participantes adquieran unos conocimientos básicos sobre nanotecnología, sus fundamentos y sus aplicaciones. Los resultados de las dos ediciones celebradas han sido muy satisfactorios, sirviendo de base para elaborar futuros contenidos destinados a estudiantes y profesores de Educación Primaria. El taller, gracias a su éxito, se celebrará en otras cinco ocasiones durante el curso 2013-2014.

Agradecimientos

El autor agradece al Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT) y a la Consejería de Educación de la Comunidad Autónoma de Madrid su apoyo a la realización del taller “Explorando el nanomundo”. El autor también agradece a la Dra. Puerto Morales y a la empresa Avanzare S.L. la cesión de algunos materiales utilizados en el taller, y Dña. Alicia Serena por la asistencia técnica en la realización de los talleres. Finalmente, el autor quiere expresar su agradecimiento a la Red NANODYF [19] por su labor como difusora de actividades como la descrita en este artículo.

Referencias

- [1] R. Feynman, *Engineering and Science* **23**, 22 (1960).
- [2] N. Taniguchi, *Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering (JSPE)* **2**, 18 (1974).

- [3] A. Acharya, S.K. Kamilla, M.K. Nayak, and G.S. Roy, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **5**, 418 (2011).
- [4] D. Loss, *Nanotechnology* **20**, 430205 (2009).
- [5] A. Correia, M. Pérez, J.J. Sáenz, and P.A. Serena, *Phys. Stat. Sol. (RRL)* **1**, A68 (2007).
- [6] National Nanotechnology Initiative (NNI), <http://www.nano.gov> (2013).
- [7] A. Xue, *Nanotechnology Funding: Corporations Grab the Reins*, (Lux Research, Nueva York, 2011).
- [8] G.C. Delgado, *Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología* (Ceich, UNAM, México, 2008).
- [9] J.A. Shatkin, *Nanotechnology: Health and Environmental Risks (Perspectives in Nanotechnology)* (CRC Press, Boca Raton, 2008).
- [10] R.V. Burri and S. Belluci, *J. Nanopart. Res.* **10**, 387 (2008).
- [11] S.C. Currall, *Nature Nanotechnology* **4**, 79 (2009).
- [12] T. Satterfield, M. Kandlikar, C.E.H. Beaudrie, J. Conti, and B.H. Harthorn, *Nature Nanotech.* **4**, 752 (2009).
- [13] J. Gómez-Ferri, *Revista iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad* **20**, 177 (2012).
- [14] A. Kahru and H.C. Dubourguier, *Toxicology* **269**, 105 (2010).
- [15] H. Vessuri, *Tecnología y Construcción* **25**, 79 (2009).
- [16] Nanoeducación en EE.UU., <http://www.nano.gov/education-training>
- [17] L. Chih-Kuan, W. Tsung-Tsong, L. Pei-Ling, and S. Hsu, *IEEE Trans. on Education* **49**, 141 (2006).
- [18] M. Bonazzi, H. von Bose, and C. Tokamanis, *Communicating Nanotechnology: Why, to whom, saying what and how?* (European Commission, Bruselas, 2010)
- [19] Red NANODYF, <http://www.nanodyf.org>
- [20] C.A. Batt, A.M. Waldron, and N. Broadwater, *J. Nanopart. Res.* **10**, 1141 (2008).
- [21] J. Tagüeña, *Mundo Nano* **4** (2) 83 (2011).
- [22] P.A. Serena, *Revista Española de Física* **27**, 29 (2013).
- [23] J. Tutor y P.A. Serena, *Mundo Nano* **4** (2), 48-58 (2011).
- [24] Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT), <http://www.muncyt.es>