

# GUÍA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LA NANOTECNOLOGÍA EN EDUCACIÓN SECUNDARIA



P.A. SERENA, J.J. GIRALDO, N. TAKEUCHI Y J.D. TUTOR (EDITORES)

RED "JOSÉ ROBERTO LEITE" DE DIVULGACIÓN Y FORMACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA





# **GUÍA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LA NANOTECNOLOGÍA EN EDUCACIÓN SECUNDARIA**

**P.A. SERENA, J.J. GIRALDO, N. TAKEUCHI Y J.D. TUTOR**

**(EDITORES)**

**RED "JOSÉ ROBERTO LEITE" DE DIVULGACIÓN Y FORMACIÓN EN  
NANOTECNOLOGÍA**



Todos los derechos reservados. Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización expresa de la Coordinación de la Red NANODYF, mediante solicitud a D. Joaquín D. Tutor ([jdtutor@upcomillas.es](mailto:jdtutor@upcomillas.es); [jtutor\\_cu@yahoo.com](mailto:jtutor_cu@yahoo.com)) salvo excepción prevista por la ley. Se excluye de la necesidad de solicitar autorización para la difusión de contenidos al profesorado de Educación Secundaria y Bachillerato cuando dichos contenidos se usen en tareas docentes.

© 2014 de la edición: P.A. Serena, J.J. Giraldo, N. Takeuchi y J.D. Tutor

© 2014 de los textos: los autores que figuran en cada capítulo y ficha didáctica

Primera edición en formato CD:

Noviembre de 2014

Impresión en formato CD realizada en:

Reproduzze S.L.

Alberto Aguilera, 25 1ª planta

28015 - MADRID - España

ISBN-13 978-84-15413-33-2

Imagen de la cubierta: montaje realizado por J.D. Tutor

A todos los maestros y profesores de Enseñanza Secundaria y Bachillerato para los cuales esperamos que este libro sirva como una modesta herramienta de trabajo en la labor de crear una cultura en Nanociencia y Nanotecnología en las jóvenes generaciones de Iberoamérica.



## Agradecimientos

El contenido de este libro, su diseño y edición corresponden a una de las acciones realizadas por un importante número de miembros de los Grupos de la Red "José Roberto Leite" de Divulgación y Formación en Nanotecnología (NANODYF), perteneciente al Área 6 de Ciencia y Sociedad, del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), así como por autores invitados a contribuir en el contenido del mismo.

La realización de este libro no hubiera sido posible sin el apoyo institucional y la sustentación financiera del Programa CYTED, que en todo momento se ha mostrado interesado en su desarrollo a través del Dr. Sandro Mendonça, Gestor del Área 6 Ciencia y Sociedad a la que pertenece la Red NANODYF. Igualmente deseamos agradecer el apoyo brindado por las instituciones, a continuación relacionadas, por dar apoyo técnico y científico a los miembros de los grupos de la Red NANODYF que han contribuido como autores de los contenidos de este libro: Universidad Pontificia Comillas de España (UPComillas), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de España, Universidad do Minho (UMINHO) de Portugal, Centro de Nanociencia y Nanotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (CNyN-UNAM), Laboratorio Nacional de Nanotecnología de Costa Rica (LANOTEC), Red Venezolana de Nanotecnología (RedVNano), Universidad de Antioquia de Colombia (UdeA), Universidad Nacional Mayor San Marcos (UNMSM) de Perú e Instituto de Investigaciones Físico-Químicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) de la Universidad de la Plata de Argentina. También queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a aquellos autores y sus Instituciones, no pertenecientes a los Grupos de la Red NANODYF, que contribuyeron tan satisfactoriamente a la realización de esta obra, a quienes siempre recordaremos por su apoyo, devoción y amabilidad y con quienes contaremos en proyectos futuros.

Finalmente, deseamos agradecer a Dña. María José Penas, Responsable de Innovación y Logística de la Secretaría General del CYTED, por su apoyo y gestión en aspectos administrativos relacionados con el registro legal de este libro.

Los Editores

Madrid, noviembre de 2014





# ÍNDICE DE LA GUÍA DIDÁCTICA

## PRÓLOGO

J. Tutor

## CAPÍTULO 1. ¿CÓMO USAR ESTA GUÍA?

J. Tutor

## CAPÍTULO 2. UNA INTRODUCCIÓN GENERAL A LA NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA

J. Giraldo y N. Takeuchi

## CAPÍTULO 3. ALGUNAS CUESTIONES A TENER EN CUENTA EN LOS PROCESOS DE COMUNICACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA

P.A. Serena

## CAPÍTULO 4. FICHAS DIDÁCTICAS.

**TABLA CON LA CONEXIÓN DE LAS FICHAS DIDÁCTICAS CON LAS ASIGNATURAS DE EDUCACIÓN SECUNDARIA Y BACHILLERATO**

***BLOQUE I. FUNDAMENTOS DE LA NANOTECNOLOGÍA. NANOESCALA. EFECTOS DE TAMAÑO Y FORMA.***

**FICHA DIDÁCTICA I.1. ESCALAS: UN PASEO DE LO GRANDE A LO PEQUEÑO**

A. Asenjo Barahona, J.A. Martín Gago, P.A. Serena

**FICHA DIDÁCTICA I.2. LA IMPORTANCIA DE LOS EFECTOS DE TAMAÑO EN NANOTECNOLOGÍA**

A. Asenjo Barahona, J.A. Martín Gago, P.A. Serena

**FICHA DIDÁCTICA I.3. EL TAMAÑO Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES DE LOS NANOSISTEMAS**

C. V. Landauro, M. Pillaca, J. Rojas

**FICHA DIDÁCTICA I.4. NANOMATERIALES DE CARBONO**

M. Kierkowicz, M. Martincic, G. Tobias-Rossell

**FICHA DIDÁCTICA I.5. LA NANOESCALA EN LOS SERES VIVOS**

R. Vázquez-Muñoz, N. Takeuchi

**FICHA DIDÁCTICA I.6. SUPERFICIES SUPERHIDROFÓBICAS: EFECTO LOTO**

A. Rivera-Álvarez, J.R. Vega- Baudrit

***BLOQUE II. NANOMATERIALES Y NANODISPOSITIVOS. PROPIEDADES Y MÉTODOS DE FABRICACIÓN.***

**FICHA DIDÁCTICA II.1. EFEITO DE TYNDALL EM SOLUÇÕES COLOIDAIIS DE OURO**

A.L.C. Campos, C.J.R. Silva, M.J. M. Gomes

**FICHA DIDÁCTICA II.2. SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA (AGNP)**

Joaquín Darío Tutor Sánchez

**FICHA DIDÁCTICA II.3. SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA RECUBIERTAS DE CITRATO. ESTABILIDAD EN SOLUCIONES DE DISTINTA COMPOSICIÓN**

J. Maya Girón, Y. Chain, M.A.Daza Millone, F. Castez, M. E.Vela

**FICHA DIDÁCTICA II.4. SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS DE ÓXIDO DE HIERRO**

J. Maya Girón, M. Calderón, C. Vericat

**FICHA DIDÁCTICA II.5. MOLDEO DE SUPERFICIES NANO / MICROESTRUCTURADAS. INTERACCIÓN DE LA LUZ VISIBLE CON NANOPATRONES SUPERFICIALES**

Alejandro Miñán, Roberto C. Salvarezza, Patricia L. Schilardi

**FICHA DIDÁCTICA II.6. MICROTÚBULOS: NANOESTRUCTURAS MULTIFUNCIONALES**

S. Barbosa-Cornelio, C. Martínez y J. Giraldo Gallo

***BLOQUE III. MÉTODOS PARA OBSERVAR Y CARACTERIZAR LOS OBJETOS DE LA NANOESCALA.***

**FICHA DIDÁCTICA III.1. MICROSCOPIOS DE FUERZAS ATÓMICAS: LOS OJOS DEL NANOMUNDO**

A. Asenjo Barahona, J.A. Martín Gago, P.A. Serena

**FICHA DIDÁCTICA III.2. NANOSCOPIAS: MICROSCOPIAS PARA HACER VISIBLE LO INVISIBLE**

S. Estradé, J. Mendoza, L. Yedra, G. Oncins, J. Díaz-Marcos

**FICHA DIDÁCTICA III.3. LA IMPORTANCIA DE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN LAS NANOCIENCIAS**

M.E. Aparicio, M.T. Romero, N. Takeuchi

***BLOQUE IV. APLICACIONES DE LA NANOTECNOLOGÍA.***

**FICHA DIDÁCTICA IV.1. LA NANOTECNOLOGÍA DE NUESTROS ANTEPASADOS**

A. Asenjo Barahona, J.A. Martín Gago, P.A. Serena

**FICHA DIDÁCTICA IV.2. NANOPARTÍCULAS Y SU USO PARA CONSTRUIR UN NANOSENSOR**

N. Sequera, F. Avellaneda, F. González, E. González

**FICHA DIDÁCTICA IV.3. ¿NANOCOSMÉTICOS?**

D. Álvarez, H. Jaramillo, C. Duque, R. L. Restrepo, A. Morales

**FICHA DIDÁCTICA IV.4. LOS NANOMATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN**

M.C. Alonso, M. Sánchez, O. Río, V. Flor-Laguna

***BLOQUE V. IMPLICACIONES SOCIALES. RIESGOS. PRECAUCIÓN. NORMATIVA.***

**FICHA DIDÁCTICA V.1. NANOTECNOLOGÍA: LA REVOLUCIÓN DE LO CHIQUITO**

Anwar Hasmy, María Sonsiré López

**FICHA DIDÁCTICA V.2. NANOTECNOLOGÍA EN LA SOCIEDAD. OPORTUNIDADES Y RIESGOS**

María Sonsiré López, Anwar Hasmy

**FICHA DIDÁCTICA V.3. LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL DEL SIGLO XXI: OPORTUNIDADES DE LA NANOTECNOLOGÍA**

J. Díaz-Marcos, G. Oncins, J. Mendoza, S. Estradé

**FICHA DIDÁCTICA V.4. LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL DEL SIGLO XXI: RIESGOS DE LA NANOTECNOLOGÍA**

J. Díaz-Marcos, G. Oncins, J. Mendoza, S. Estradé

**FICHA DIDÁCTICA V.5. ASPECTOS ÉTICOS Y SOCIALES DE LA NANOTECNOLOGÍA:  
NANOPÁNICO O NANOEUFORIA**

J. Mendoza, J. Díaz-Marcos, G. Oncins, S. Estradé

**FICHA DIDÁCTICA V.6. IMPLICACIONES SOCIALES, RIESGOS, PRECAUCIÓN,  
NORMATIVA**

H. Jaramillo, D. Álvarez, C. Duque, R. L. Restrepo, A. Morales

**FICHA DIDÁCTICA V.7. EMPLEO DE PELÍCULAS DE CINE PARA ABORDAR LAS  
IMPLICACIONES ÉTICAS DE LA NANOTECNOLOGÍA EN LA SOCIEDAD**

J.R. Vega-Baudrit

**CAPÍTULO 5. PERSONAS E INSTITUCIONES DE CONTACTO EN RELACIÓN  
CON LA DIVULGACIÓN Y LA FORMACIÓN DE LA NANOCIENCIA Y LA  
NANOTECNOLOGÍA**

**ANEXOS. MATERIALES COMPLEMENTARIOS DE LAS FICHAS DIDÁCTICAS  
INCLUIDAS EN EL CAPÍTULO 4**



# PRÓLOGO

Joaquín Darío Tutor Sánchez <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>

(1) Departamento de Ingeniería Mecánica, ETSI-ICAI Universidad Pontificia Comillas. C/ Alberto Aguilera 25, 28015, Madrid, España.

(2) Coordinador de la Red "José Roberto Leite" de Divulgación y Formación en Nanotecnología, NANODYF. Área 6 de Ciencia y Sociedad. Programa CYTED.

\*Correo electrónico: [jdtutor@upcomillas.es](mailto:jdtutor@upcomillas.es); [jtutor\\_cu@yahoo.com](mailto:jtutor_cu@yahoo.com)

Se sabe que una buena formación científica es importante para todos, y no solo para los que vayan a seguir una profesión tecnológica o científica. La ciencia y la tecnología están en todas partes y descubrir de qué modo interviene en nuestra vida diaria puede proporcionar una base excelente para el posterior desarrollo exitoso en la vida. La creencia de que la ciencia y la tecnología sólo son necesarias para los científicos e ingenieros es errónea en el mundo actual basado en las tecnologías avanzadas. En la actualidad, a nivel no universitario, una adecuada formación en Nanotecnología es fundamental para todos los alumnos, cualquiera sea su condición sociocultural, aptitud, interés, capacidad y proyección pre-profesional futura u orientación vocacional. El cumplimiento de este reto iberoamericano hará que nuestra región alcance un importante lugar en la formación en Nanotecnología a nivel pre-universitario, que permita a nuestra región estar a la altura de otros bloques regionales a nivel mundial en dicha formación.

Este libro no es una recopilación de contribuciones sobre temas de Nanociencia y Nanotecnología donde se aborden contenidos propios de los resultados científicos y tecnológicos de esta evolución avanzada de la Ciencia y la Tecnología de Materiales, que junto a los avances de la Biotecnología, la Informática y la Teoría del Conocimiento, nos muestren los éxitos de la Nanotecnología como la base de la Revolución Científico-Técnica del Siglo XXI. Este libro pretende ser una herramienta de trabajo para que docentes de los niveles Medio Básico y Medio Superior de enseñanza implementen una actualización de sus clases de Física, Química, Biología, Tecnología, etc. con contenidos de la Nanociencia y la Nanotecnología; pretende ser una guía metodológica que oriente la preparación y realización de sus clases con un enfoque moderno, y que de forma coherente, espontánea y dinámica abra nuevas perspectivas gnoseológicas a sus alumnos.

La Guía Didáctica de Enseñanza de la Nanotecnología (GDEN) representa la materialización de un esfuerzo realizado por docentes e investigadores iberoamericanos ante una tarea planteada por la Red Iberoamericana “José Roberto Leite” de Divulgación y Formación en Nanotecnología, NANODYF ([www.nanodyf.org](http://www.nanodyf.org)), perteneciente al Área 6 de Ciencia y Sociedad del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo, CYTED ([www.cyted.org](http://www.cyted.org)). En la elaboración de esta Guía han participado docentes e investigadores miembros de diferentes grupos que conforman la Red NANODYF, la cual abarca un total de 10 países iberoamericanos: España, Portugal, Cuba, México, Costa Rica, Colombia, Venezuela, Perú, Brasil, Chile y Argentina; también han participado en la elaboración de esta Guía docentes e investigadores invitados, que no forman parte de la Red NANODYF, pero que se motivaron con esta tarea y que han plasmado sus intereses docentes a través de sus contribuciones a la GDEN.

Esta Guía comienza con un breve capítulo, *¿Cómo usar esta Guía?*, en el que se sugiere el modo de utilización de la misma, sin pretender imponer un criterio cerrado ante su uso por parte de los docentes a quienes va dirigida esta Guía. A continuación se presenta el capítulo *Introducción general a la nanociencia y a la nanotecnología*, en el que se hace una breve presentación del desarrollo histórico – lógico de la Nanociencia y la Nanotecnología; seguidamente se abordan algunos aspectos generales y específicos acerca de las dificultades que a veces se presentan a la hora de realizar labores de enseñanza no reglada (divulgación) y de enseñanza reglada (formación) en el ámbito de la Nanociencia y la Nanotecnología, esto en el capítulo *Problemas de comunicación de la nanotecnología*. Una vez presentados estos aspectos introductorios de la Guía, se pasa al contenido concreto de las denominadas Fichas de actividades didácticas que se hayan agrupadas en los siguientes bloques:

Bloque I. Fundamentos de la nanotecnología. Nanoescala. Efectos de tamaño.

Bloque II. Nanomateriales y nanodispositivos. Propiedades y métodos de fabricación.

Bloque III. Métodos para observar y caracterizar los objetos de la nanoescala.

Bloque IV. Aplicaciones de la nanotecnología.

Bloque V. Implicaciones sociales. Riesgos. Precaución. Normativa.

Y se finaliza la presente Guía con el capítulo *Referencias y materiales complementarios*, como material adicional y orientativo para los docentes, y el capítulo *Datos de personas de contacto dedicadas a la divulgación de la nanotecnología en algunos países iberoamericanos*.



El mayor deseo de todos los autores de esta Guía Didáctica de Enseñanza de Nanotecnología y del cuerpo editorial de la misma es que este material no sea “uno más”, deseamos que sea un “compañero de aventura” en esta hermosa aventura de la Formación en Nanotecnología.

¡Bienvenidos a la GDEN!



# CAPÍTULO 1

## ¿CÓMO USAR ESTA GUÍA?

Joaquín Darío Tutor Sánchez <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>

(1) Departamento de Ingeniería Mecánica, ETSI-ICAI Universidad Pontificia Comillas. C/ Alberto Aguilera 25, 28015, Madrid, España.

(2) Coordinador de la Red "José Roberto Leite" de Divulgación y Formación en Nanotecnología, NANODYF. Área 6 de Ciencia y Sociedad. Programa CYTED.

\*Correo electrónico: [jdtutor@upcomillas.es](mailto:jdtutor@upcomillas.es); [jtutor\\_cu@yahoo.com](mailto:jtutor_cu@yahoo.com)

## INTRODUCCIÓN

La Guía Didáctica de Enseñanza de Nanotecnología, GDEN, es en su esencia un conjunto de recursos didácticos puestos a disposición del claustro de maestros y profesores de Enseñanza Media Básica y Media Superior, que les permita introducir, en sus asignaturas de Ciencia Naturales y Exactas, Ciencias Técnicas y Ciencias Sociales, de forma coherente, espontánea y dinámica, un conjunto de nuevos conceptos, leyes y teorías que conforman el ámbito cognoscitivo de la Nanociencia y la Nanotecnología. Pero, en tanto que recursos didácticos debemos aclarar brevemente qué es un Recurso Didáctico.

Un recurso didáctico es cualquier material que se ha elaborado con la intención de facilitar al profesor su función docente-educativa y a su vez al alumno su función de aprendizaje. No olvidemos que los recursos didácticos deben utilizarse en un contexto educativo [1,2].

¿Qué funciones desarrollan los recursos didácticos? A continuación lo resumiremos en seis funciones:

- Los recursos didácticos proporcionan información al alumno.
- Son una guía para los aprendizajes, ya que nos ayudan a organizar la información que queremos transmitir. De esta manera ofrecemos nuevos conocimientos al alumno.
- Nos ayudan a desarrollar habilidades en los alumnos, y también a ejercitarlas.

- Los recursos didácticos despiertan la motivación, la impulsan y crean un interés hacia el contenido del mismo.
- Nos permiten evaluar los conocimientos de los alumnos en cada momento, ya que normalmente suelen contener una serie de cuestiones sobre las que queremos que el alumno reflexione.
- Nos proporcionan un entorno para la expresión del alumno. Como por ejemplo, rellenar una ficha mediante una conversación o un experimento en la que alumno y docente interactúan

En este sentido nos hemos detenido a reflexionar brevemente sobre qué es un recurso didáctico y cuáles son sus funciones; trataremos de exponer algunas sugerencias sobre cómo usar la GDEN en el marco de la enseñanza Media Básica y Media Superior en nuestro ámbito iberoamericano.

## **ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL USO DE LA GDEN**

Aunque pueda haber matices diferentes en lo que se refiere a documentación didáctica-metodológica de los maestros y profesores en los diferentes países iberoamericanos, existen documentos básicos y generales, establecidos por los Ministerios de Educación de los diferentes países, que conforman el contenido del currículum de las asignaturas, tanto en centros públicos como privados. Estos documentos invariantes del proceso docente educativo son: el Programa de la Asignatura y la Programación o Planificación Didáctica de los contenidos de la asignatura.

Los maestros y profesores de asignaturas de Ciencias Naturales y Exactas, Ciencias Técnicas y Ciencias Sociales con acceso a la GDEN, deberán realizar un “trabajo de mesa” en la preparación de sus asignaturas en la que identifiquen la relación: Contenido específico de la Asignatura – Planificación Didáctica – Fichas Didácticas de la GDEN, de forma tal que encuentren el lugar apropiado dentro de sus asignaturas, y el momento adecuado para introducir conceptos, leyes, teorías o marcos de aplicación de la Nanociencia y la Nanotecnología.

A continuación, a manera de ejemplo, se presenta una posible forma de utilizar la GDEN.

En España, las líneas maestras de los programas didácticos de las distintas asignaturas para la enseñanza Media Básica (ESO) y Media Superior (Bachillerato) son establecidas por el Ministerio de Educación [3]; posteriormente, y de acuerdo a las competencias

en educación de las Comunidades Autónomas, cada Comunidad diseña los programas didácticos específicos, los cuales son desarrollados en detalle y a manera de libros didácticos para profesores, por distintas editoriales de textos educativos. Por ejemplo la Editorial SM [4], que tiene representación en Argentina, Brasil, Chile, Colombia, España, México, Perú, Puerto Rico y República Dominicana, desarrolló detalladamente la Programación Didáctica de la Asignatura Física y Química de 1º de Bachillerato. A continuación la propuesta de programación didáctica del Capítulo 10 “La Materia y sus Propiedades” de la editorial SM.

## **FISICA Y QUÍMICA. 1º DE BACHILLERATO**

### **PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA**

#### **Capítulo 10 “LA MATERIA Y SUS PROPIEDADES”**

*<<En esta unidad didáctica se repasan conceptos ya conocidos, como los estados de agregación de la materia que se interpretan a partir de la teoría cinética; y se realiza una clasificación de los sistemas materiales en homogéneos y heterogéneos, procediendo a la descripción de los mismos, definiendo e identificando ejemplos de mezclas homogéneas y sustancias puras, compuestos y elementos. Es la base para abordar las leyes fundamentales de la Química. >> (Cita del documento original)*

En la Tabla 1 se muestran la propuesta de objetivos específicos y los criterios de evaluación de la antes mencionada programación realizado por la Editorial SM.

<b>OBJETIVOS DIDÁCTICOS</b>	<b>CRITERIOS DE EVALUACIÓN</b>
Realizar una descripción macroscópica de las formas en las que se presenta la materia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar las principales propiedades de los sólidos, líquidos y gases, y justificarlas mediante la teoría cinética.</li> <li>• Identificar los distintos tipos de mezclas y diseñar procedimientos de separación.</li> <li>• Resolver problemas y cuestiones sobre disoluciones y solubilidad.</li> <li>• Resolver problemas y cuestiones sobre las sustancias puras y su reconocimiento.</li> </ul>
Reconocer los cambios físicos y los cambios químicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferenciar cambios físicos y cambios químicos.</li> </ul>
Identificar los distintos tipos de sustancias puras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar elementos y compuestos diseñando procedimientos de separación.</li> </ul>

*Tabla 1. Objetivos y Criterios de Evaluación de la Programación Didáctica del Capítulo 10 “La Materia y sus Propiedades”. Editorial SM*

A continuación, en la Tabla 2, se presenta un desglose de los contenidos a tratar en este capítulo, la descripción de los procedimientos para su impartición, así como una relación de actitudes/habilidades que el alumno debe adquirir durante el aprendizaje de este capítulo. La distribución horaria de esta propuesta queda a elección de los

departamentos docentes, y de los maestros y profesores de las escuelas, así como de las administraciones de las mismas.

Hemos resaltado en cursiva y negritas el concepto de *“Las dispersiones coloidales”*, así como el procedimiento *“Observar el efecto Tyndall en una dispersión coloidal”*.

CONTENIDOS		
CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS	ACTITUDES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La naturaleza discontinua de la materia.</li> <li>• Los estados de agregación.</li> <li>• Mezclas homogéneas y heterogéneas.</li> <li>• Las disoluciones.</li> <li>• <b><i>Las dispersiones coloidales.</i></b></li> <li>• Sustancia química.</li> <li>• Los cambios físicos y químicos.</li> <li>• Las sustancias puras: elementos y compuestos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representar mediante modelos de bolas un sólido, un líquido y un gas.</li> <li>• Observar a simple vista y con microscopio mezclas heterogéneas, como el barro y la sangre.</li> <li>• Separar mezclas homogéneas y heterogéneas.</li> <li>• Preparar disoluciones saturadas y no saturadas.</li> <li>• Destilar una disolución de agua y alcohol.</li> <li>• <b><i>Observar el efecto Tyndall en una dispersión coloidal.</i></b></li> <li>• Identificar sustancias puras por la constancia de sus puntos de ebullición.</li> <li>• Determinar el punto de fusión de una sustancia pura.</li> <li>• Llevar a cabo cambios físicos y químicos.</li> <li>• Descomponer compuestos mediante calcinación y electrólisis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respeto a las normas de seguridad que se deben observar en el laboratorio de química y que deben ser explicadas por el profesor en cada caso.</li> <li>• Interés por la observación rigurosa de la materia y sus propiedades.</li> <li>• Reconocimiento del valor histórico del descubrimiento de los elementos ante las dificultades históricas para diferenciarlos de los compuestos.</li> <li>• Desarrollo de hábitos de pensamiento basados en el método científico.</li> </ul>

Tabla 2. Especificación de contenidos, procedimientos y actitudes/habilidades recomendadas en el desarrollo del Capítulo 10 “La Materia y sus Propiedades” (Editorial SM)

En este ejemplo que estamos exponiendo en este capítulo de la GDEN sobre “Cómo usar esta Guía”, la sugerencia sobre cómo usar la GDEN se expone a continuación. Ante esta programación didáctica de su asignatura, el profesor, con acceso a la GDEN, puede dirigirse a fichas didácticas tales como:

- Bloque II, Ficha II.2 EFEITO DE TYNDALL EM SOLUÇÕES COLOIDAIIS DE OURO
- Bloque II, Ficha II.3 SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA (AgNP)
- Bloque II, Ficha II.4 SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA RECUBIERTAS DE CITRATO. ESTABILIDAD EN SOLUCIONES DE DISTINTA COMPOSICIÓN

El profesor debe estudiarlas detenidamente para decidir cuál de ellas, de acuerdo al grado de complejidad, tiempo y logística en sus escuelas, puede incluir en la programación de sus clases en dicho Capítulo 10, "La Materia y sus Propiedades". De esta manera el maestro o profesor está introduciendo el concepto de nanopartículas, el método de fabricación "de abajo a arriba" de nanopartículas a la hora de preparar una solución coloidal y un posible procedimiento sencillo de caracterización de nanopartículas aprovechando el efecto Tyndall (dispersión de la luz en soluciones coloidales) con el uso de instrumentos y dispositivos sencillos.

## **CONCLUSIONES**

Estas sugerencias ofrecidas a nuestros lectores, maestros y profesores, permitirán disponer de un modo de actuar con el uso de la GDEN. Estas sugerencias son solo eso, "sugerencias". Dejamos en manos de los maestros y profesores, de acuerdo con sus criterios, experiencias y condiciones de trabajo, la posibilidad de elegir otros procedimientos de uso de esta Guía, para poder hacer realidad la enseñanza de la Nanociencia y la Nanotecnología a través de asignaturas de Ciencias Naturales y Exactas, Ciencias Técnicas y Ciencias Sociales en nuestras escuelas en Iberoamérica.

## **REFERENCIAS**

- [1] J.D. Tutor Sánchez y L. García Ramis, "Metodología de la Enseñanza de la Física, 7º y 8º Grados" Tomo II, Editorial Pueblo y Educación, Ministerio de Educación, Cuba, 1980.
- [2] E.M. Vilaú, C. Pérez Ganfong, J.A. Tabío Losada, J. Lourido Hermida, L. García Ramis y J.D. Tutor Sánchez, "Orientaciones Metodológicas. Física 12º Grado", Editorial Pueblo y Educación, Ministerio de Educación, Cuba, 1979.
- [3] Áreas de Educación del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España. Accesible en <http://www.mecd.gob.es/educacion-mecd/areas-educacion.html>
- [4] Grupo Editorial SM. Accesible en <http://www.grupo-sm.com/grupo-sm>





## CAPÍTULO 2

# UNA INTRODUCCIÓN GENERAL A LA NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA

Jairo Giraldo <sup>(1)</sup>, Noboru Takeuchi <sup>(2)</sup>

(1) Facultad de Ciencias, Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia – Seccional Bogotá, Edif. Camilo Torres B3, N4, Bogotá, Colombia.

(2) Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, Baja California, México.

\*Correo electrónico: [jjgiraldog@unal.edu.co](mailto:jjgiraldog@unal.edu.co), [takeuchi@cnyunam.mx](mailto:takeuchi@cnyunam.mx)

## RESUMEN

La nanotecnología ha invadido los mercados de todo el mundo. Detrás de ella está la nanociencia; y todavía más atrás, la mecánica cuántica: sin esta última no podría existir la nanotecnología, el tema en que se inscriben las guías que ofrecemos al lector, maestro, o simplemente curioso, a lo mejor un especialista en otro campo ajeno al del asunto que nos ocupa. En esta introducción general se intentará resumir y definir algunos conceptos básicos que podrán ser útiles antes de leer las guías.

## EL NANÓMETRO

En muchas circunstancias el lector se habrá encontrado con el término *nano*, y si lo consulta en la *web* le aparecerán cerca de un centenar de millones de resultados. Pues bien, en el sistema internacional de unidades (S.I.U.) nano es un prefijo que tiene un significado muy preciso desde hace poco más de medio siglo, un tiempo relativamente corto. Antes de que entremos a definirlo como corresponde, es interesante señalar dos cosas: su origen etimológico y su primer uso científico en la época actual. El primero tiene, como ya lo imaginará el lector, el significado de enano o pequeño. Pero decir pequeño o diminuto no conlleva un significado exacto del término, a menos que se establezca un patrón de referencia. El tamaño de las partículas elementales, por ejemplo, están en un rango muy por debajo de lo que denominamos *nanoescala*.

¿Qué significa, en rigor, ese prefijo con el que cada día no solamente se crean nuevos términos que tal vez no dicen mucho al grueso de la población sino que más bien sirve para designar nuevos productos para todos los gustos y para todo tipo de aplicaciones, y surgen nuevos campos de investigación que inspiran a su vez nuevas ideas, nos llevan a lograr nuevos descubrimientos científicos y grandes avances tecnológicos, y que

como veremos generan nuevas formas de relacionarnos, de pensar, de actuar y de buscar, ojalá de encontrar, caminos alternativos al desarrollo?

La primera imagen que surge a la mente de quien no está muy metido en el asunto es la que proviene del origen mismo del término, desde el punto de vista etimológico: enano, proveniente del vocablo griego nanos (νάνος). La reducción en el tamaño de los dispositivos electrónicos del presente lo confirma: son menos que diminutos. Ya no hablaremos más de microcircuitos, nos referiremos a los nanocircuitos; ni interesará demasiado la microelectrónica, es la nanoelectrónica la que domina el mercado del presente y lo hará mucho más en el futuro. También el silicio, rey de los materiales semiconductores, ha comenzado a perder su primacía. Han surgido y surgirán una enorme gama de materiales nanoestructurados, no solamente para la industria optoelectrónica sino para todo tipo de industrias y para resolver todo tipo de necesidades. Es de advertir que con la disminución del tamaño surgen nuevas propiedades, y ese es uno de los aspectos más trascendentales de la nanoescala que queremos destacar. Es, pues, importante que empecemos por precisar qué significa este prefijo y vayamos luego a examinar qué es lo que pasa en ese *mundo invisible* a simple vista, intermedio entre lo más pequeño, las partículas elementales, y lo que antes denominábamos micromundo como sinónimo de pequeño, un mundo hasta hace pocas décadas casi totalmente desapercibido.



Figura 1. Microscopio Electrónica de Transmisión del CNyN-UNAM

Si el microscopio óptico, antes denominado simplemente microscopio compuesto (compuesto de dos lentes), abrió bastos universos, entre otros el de los microbios, las bacterias y los virus, el microscopio electrónico, el microscopio de fuerza atómica y otros más a los que nos referiremos más adelante abren universos igualmente interesantes que jamás habían pasado por la mente del ser humano. *Nanoscopios* sería un término adecuado para referirse a los microscopios especializados, diseñados para observar el nanomundo, aunque el epíteto se utiliza en raras ocasiones.

Si bien se suele tomar como sinónimo de diminuto, decir que nano equivale a muy chico no es un gran avance; ya lo señalamos anteriormente, grande o pequeño depende de la escala con la cual se compara. A escala cósmica, podría pensarse que el término nano pierde importancia; mas es conveniente tener en cuenta que algunos de los objetos nanométricos que hoy conocemos y son materia de estudio en los laboratorios *terrestres* han sido detectados en los espacios intergalácticos: materiales nanométricos son procesados, pues, en el macrocosmos universal.

En la escala en que solemos vivir, aquella en que nos movemos la mayor parte del tiempo, el metro ha resultado ser la medida más adecuada de longitud. Cuando caminamos a grandes pasos, cada uno de ellos nos desplaza aproximadamente un metro del punto de partida. Cuando extendemos los brazos, la distancia entre las puntas de los dedos no suele ir más allá de 1.50 m. Sirva la ocasión para indicar que el metro se suele simbolizar en el S.I.U. por la letra m. Tomemos, pues, el metro como referencia antes de ingresar de lleno a la nanoescala.

Para precisar lo que es un nanómetro como medida de longitud, un submúltiplo del m definido en 1960 durante la 11ª Conferencia de Pesas y Medidas **en París**, empecemos por dividir este último en mil partes: por supuesto que nos estamos refiriendo al milímetro. Un mm es la milésima parte del metro. En notación científica, en potencias de 10,  $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ . Para completar la introducción a la notación científica, digamos a quienes no han escuchado o leído mayor cosa sobre estos asuntos o simplemente lo han olvidado, que el múltiplo correspondiente del m, el kilómetro o km, es equivalente a 1,000 m o  $10^3 \text{ m}$ . Es difícil ubicar a simple vista objetos del tamaño de una fracción de milímetro, requerimos al menos de la lupa, y es imposible dar detalles finos sobre objetos que se encuentran a unos pocos kilómetros de distancia sin ayuda de un catalejo. Para observar los cráteres de la Luna, necesitamos de un buen telescopio.

Imagine ahora el lector que divide nuevamente al mm en mil partes: cada una de esas partes corresponde a una millonésima, lo que en submúltiplos del metro se denomina micrómetro:  $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ . En esa escala encontramos a las bacterias, las que constituyen el grupo principal de los microbios, de ahí el nombre del submúltiplo. El

término *nanno* (sic) fue introducido en 1902 por el biólogo alemán H. Lohmann para referirse a los más pequeños microfósiles de protistas observados entonces. Nótese que nanoplankton (cocolitos), nanofósiles y nanolitos, siguen siendo términos en boga para referirse a estructuras orgánicas de varios micrómetros de tamaño. No es el uso que se le da al prefijo nano, definido con precisión en 1960 para que formara parte del S.I.U. Así, pues, cuando en 1959 el famoso físico norteamericano Richard Feynman, 6 años más tarde galardonado con el premio Nobel “por su contribución fundamental a la electrodinámica cuántica (Q.E.D., por sus siglas en inglés), con profundas implicaciones en el campo de las partículas elementales”, dictó una famosa conferencia citada decenas de millones de veces (un orden de magnitud más que su Q.E.D.) y a la que nos referiremos más adelante, el término nano con el significado preciso que ahora tiene no había sido definido. Lo haremos a continuación, siguiendo la nomenclatura del S.I.U.

Tome, pues, el lector una de esas partes, la *micra* en lenguaje coloquial, y divídala nuevamente en mil partecitas: ha obtenido el nanómetro, *nm*. En esa escala, la de los nanómetros, se encuentra el protagonista invisible de nuestra historia. Invisible, porque es inobservable a simple vista, como el micrómetro, aún más, a diferencia de este último, no puede observarse con los microscopios regulares, también denominados microscopios ópticos, como ya señalamos anteriormente. Para ello tendremos que utilizar los microscopios que nos permiten ver en esa nueva escala, genéricamente denominados microscopios electrónicos o atómicos.

El átomo de hidrógeno tiene un radio de 0.51 Å. El Ångström, simbolizado Å, es una décima de nm, es decir,  $10^{-10}$  m, unidad de medida muy importante en espectroscopia; a esta última volveremos más adelante.

En síntesis, la milésima de la milésima de la milésima de metro, la milmillonésima de metro, es el nanómetro. En símbolos:  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ . En los países anglosajones, una milmillonésima es una billonésima, costumbre diferente a la de los países de habla hispana, en donde un billón es un conjunto de millón de millones. Así pues, a diferencia de la hispana, en la literatura inglesa el nanómetro es una billonésima de metro.

## **NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA**

Hemos avanzado menos de una milmillonésima en conocimiento (¿un nano-qué?), pero al menos hemos logrado precisar un poco la escala, antes de empezar nuestra incursión (más que excursión) al nanomundo. El desarrollo de la nanociencia no depende solamente de los avances en las posibilidades de ubicar espacialmente y medir el tamaño de estructuras en esa región sino también de seguir paso a paso y en

lo posible manipular y controlar los rapidísimos procesos dinámicos o de transformación que ocurren en la nanoescala.

Habrà observado el lector que hemos hablado más o menos indistintamente de nanociencia y de nanotecnología, pero es de advertir que la ciencia suele ser más cuidadosa en el lenguaje que la tecnología y el mercado. No obstante, las unidades de medida se definen con una precisión que envidiaría la ciencia, aunque la medida suele suponerse que es una técnica. No lo es en un aspecto que tiene mucho que ver con lo que estamos diciendo, la mecánica cuántica, a la que nos referiremos también más adelante, aunque muy escuetamente. Precisaremos lo que debe entenderse rigurosamente por nanociencia. Antes de hacerlo, nos ocuparemos de enfatizar otro aspecto: el nanomundo, es decir, las nanomáquinas y otros nano-objetos ya estaban ahí desde mucho antes que nosotros tomáramos conciencia de su existencia.

En efecto, hace alrededor de cuatro mil millones de años se inició en la Tierra una profunda transformación que dio origen a las bio-macro-moléculas. Muchas de ellas son en realidad nanomoléculas. Lo que ocurrió entonces fue ni más ni menos que *el origen de la vida... de la conciencia... y de la inteligencia*. Por ese solo hecho aquella etapa bien podría denominarse la de la gran nano-revolución: es posible que no haya otra comparable en nuestro planeta. En el lenguaje usual preferirán llamarla simplemente *evolución molecular*. Lo cierto es que somos un subproducto de ese proceso dinámico que no sabemos a ciencia cierta cómo se dio ni por cuánto tiempo se prolongó, si es que podemos decir que en algún momento dejó de ser tan importante.

En las últimas décadas, particularmente en las que van corridas del presente siglo XXI, asistimos a otra gran revolución molecular relacionada con *lo nano*, y es eso principalmente lo que ha dado lugar a estas guías. Sus efectos han impactado prácticamente todos los aspectos de las civilizaciones y culturas, en plural, del presente y seguirán produciendo profundas transformaciones del mundo en que vivimos.

¿Cómo surgió el interés por el nanomundo? Nos pareció interesante presentar la historia desde el comienzo, cuando Feynman, famoso por varias cosas menos por sus aportes a lo que hoy se denomine nanociencia o nanotecnología, *predijo* en gran medida lo que podría ocurrir unas décadas más tarde. Sin que hubiera utilizado el término *nano*, mucho menos la palabra comodín de hoy, nanotecnología, en una memorable charla el 29 de diciembre de 1959 presentó durante el famoso *Meeting* anual de la APS (Sociedad Americana de Física), realizado en *Caltech* (California Institute of Technology), la conferencia titulada «Hay suficiente espacio en el fondo» (*There is plenty of room at the bottom*), de fácil adquisición en todos los idiomas.

Feynman empezó su charla afirmando que ninguna ley física prohíbe que se puedan hacer cosas como miniaturizar las computadoras y escribir la información contenida en los 24 volúmenes de la Enciclopedia Británica en la cabeza de un alfiler; “toda la información que la especie humana ha grabado en libros podría llevarse en un folleto en sus manos”, anticipó. El interés principal de Feynman en ese momento era imaginar cómo reducir el tamaño de las computadoras, pero su charla se fijó mucho más en las hoy denominadas *nanomáquinas*, de las cuales las enzimas son un buen ejemplo.

Aunque ahora no sorprende demasiado hablar de computadoras muy pequeñas y ultra-rápidas, téngase en cuenta que en 1959 la computadora más rápida era la IBM 705, que podía hacer 5,000 multiplicaciones en un segundo y de pequeña no tenía nada. En el 2014 la computadora Tianhe-2 puede hacer  $55 \times 10^{15}$ , o 55,000,000,000,000,000 operaciones en un segundo. Antes se almacenaba información en cintas magnéticas gigantescas, mientras que hoy podemos almacenar nuestros datos en memorias flash de muchísimos Gigabyte. En nuestros i-pods o mp3, al guardar nuestras canciones favoritas, estamos almacenando una cantidad de información muy grande en un dispositivo ultra-pequeño.

En la charla aludida Feynman mencionó que era posible construir maquinaria con átomos y moléculas. Feynman estaba demasiado adelantado a su tiempo; recuérdese que ni siquiera había sido definido el *nm*. En ese entonces no se tenían las herramientas para el trabajo que sugería. Ninguna de las técnicas de manufactura que permitían fabricar dispositivos muy pequeños, podían operarse en la nanoescala. No solamente no se podían manipular átomos o moléculas individuales a voluntad sino que tampoco era posible observarlos. En la actualidad, sí poseemos herramientas para ver y manipular el nanomundo. Otro aspecto destacado por Feynman en su famosa conferencia fue este: encontraremos que a esa escala (en el nanomundo) las cosas ocurren de manera diferente a lo que se observa en el micro y macromundo.

La conferencia no recibió mayor atención hasta la década de los 80, en especial después de 1986, año en que Eric Drexler publicó un libro titulado *Máquinas de la creación* (Engines of Creation: the coming era of nanotechnology), causando un gran impacto en todos los círculos con la introducción del término *plaga gris* (*gray goo*) para describir lo que podría ocurrir si una máquina hipotética auto-replicante, capaz de operar autónomamente, fuera construida y liberada en el ambiente. Drexler, quien había estado explorando la posibilidad de lograr asentamientos humanos en el espacio y por ese camino se había interesado por la ingeniería genética, percibió a mediados de los 70 que este campo podía ir más allá de la biología molecular y concibió la idea de máquinas moleculares útiles para la computación; es notable que llegó a esta conclusión sin tener conocimiento del discurso de Feynman, el que descubrió fortuitamente en 1979. Un lustro antes (1974), Norio Taniguchi, de la Universidad de Ciencias de Tokio, había acuñado el término durante una conferencia, definiendo la nanotecnología como “*la tecnología necesaria para poder fabricar objetos o*

*dispositivos* (circuitos integrados, memorias de ordenador, dispositivos opto electrónicos, etc.) *con una precisión del orden de 1 nm.*”

Antes de proseguir, recordemos que para observar objetos muy pequeños, normalmente usamos los microscopios, con lentes ópticas que aumentan la imagen producida con la luz. En un microscopio, la resolución o distancia mínima a la cual dos objetos se pueden ver como objetos separados es una cantidad importante. La resolución depende de la longitud de onda de la luz, la cual en el denominado espectro visible varía de ~3800-7800 Å, por lo cual los microscopios tradicionales no nos permiten obtener resoluciones atómicas, en la región de los Å. De ahí la necesidad de usar una nueva clase de microscopios, los microscopios electrónicos. Como señalaremos más adelante, los electrones también tienen un comportamiento ondulatorio y su longitud de onda es de ~0.5 Å a las velocidades a que suelen moverse en las autopistas de esos microscopios, una fracción importante de la velocidad de la luz. En los microscopios electrónicos, en lugar de luz se usan electrones, y en lugar de funcionar con las lentes tradicionales, los electrones se enfocan por medio de lentes electromagnéticas. A partir de la segunda mitad del siglo XX, la resolución de estos microscopios ha mejorado mucho, y hoy fácilmente alcanzan la resolución de los nanómetros.

En la década de los ochenta tuvieron lugar importantes descubrimientos que dispararon la posibilidad de manipular y observar la materia a nivel atómico. Mencionemos solamente 3 (las siglas que utilizamos a continuación corresponden al acrónimo en inglés): se inventó el microscopio de efecto túnel (STM, o *scanning tunneling microscope*, 1981), una versátil herramienta que perfeccionó la observación que podía hacerse con los microscopios electrónicos (TEM, *transmission electron microscope*, y SEM, *scanning electron microscope*), ideados 50 años atrás (1930 y 1937, respectivamente); se descubrió el carbono 60, C<sub>60</sub> (1985), y otras estructuras nanométricas denominadas *fullerenos*; y empezó a desarrollarse vertiginosamente lo que para entonces se denominaba *Ciencia de superficies*, un campo que había empezado a explorarse décadas atrás y que dio lugar posteriormente a lo que hoy es conocido como *ciencias de nuevos materiales* o *materiales avanzados*. Ello se debió al surgimiento de nuevas espectroscopías de superficie y de volumen, al perfeccionamiento de las ya existentes y a otras técnicas de *caracterización microscópica*.

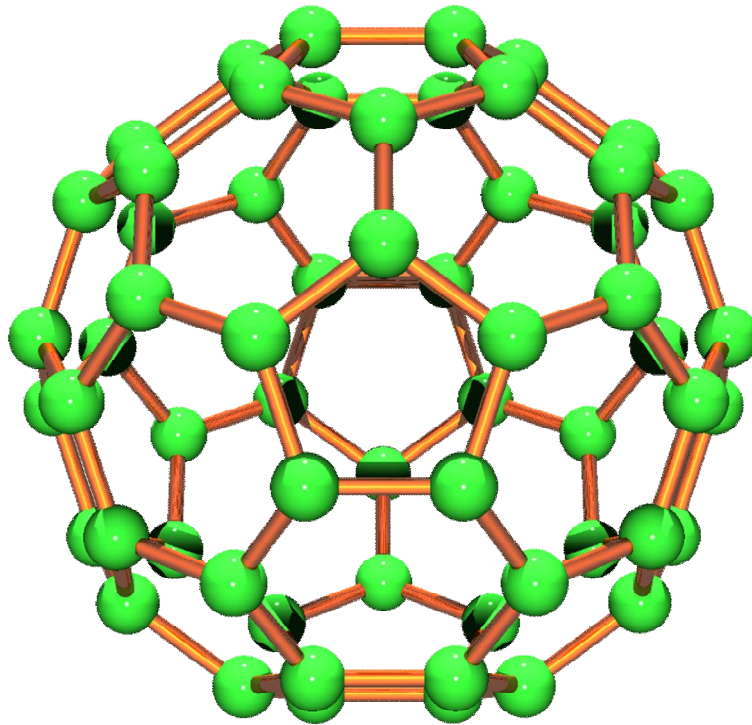


Figura 2. Modelo de un fullereno de carbono

Las espectroscopías en general consisten en enviar algún tipo de radiación (ondas o partículas) al objeto que se estudia y analizar lo que sale después de la interacción de lo que se envía con el material bajo estudio. De esta manera se puede tener información de las propiedades del objeto. Hay muchos tipos de espectroscopías dependiendo de la clase de radiación que se usa.

Habrás observado el lector que microscopio y espectro a menudo están relacionados. En física y química, el término *espectro* (del latín *spectrum*, que significa fantasma) originalmente se refiere a los colores característicos que emite (o absorbe) una sustancia química, simple o compuesta. La espectroscopía (y por ende la microscopía) ha sido una de las herramientas más valiosas de las ciencias naturales, también de las nuevas ciencias de materiales. Con las microscopías (o espectroscopías) electrónicas y atómicas, la capacidad de observación, análisis y caracterización creció, diríase que exponencialmente, particularmente por debajo de la microescala.

La explicación del espectro del hidrógeno, dada por primera vez por Niels Bohr en 1913, fue el avance más espectacular para entender el comportamiento de la materia en esa escala. Nos estamos refiriendo al modelo atómico de Bohr, todavía primitivo si se quiere para la teoría atómica cuántica que vendría en la década siguiente, pero a todas luces *un salto cuántico*, como podría llamarse por estrecha analogía con lo que



Bohr introdujo: los electrones en los átomos saltan de una a otra órbita, sin pasar por órbitas intermedias.

Es conveniente detenerse un poco más en la parte conceptual, lo que explica el comportamiento de la materia a escala atómica y por ende en la nanoescala, antes de seguir adelante. Si se asocia, como suele hacerse en la física, energía con órbita, decir que el paso de una órbita a otra es discontinuo significa lo mismo que decir, como afirma la cuántica, que la energía que un sistema físico puede tener o tomar no es cualquiera, la cantidad exacta está limitada a ciertos valores que son precisamente los permitidos por las condiciones a que está sometido ese sistema. Para el caso del electrón en el átomo de hidrógeno, el problema de un electrón atraído eléctricamente por un protón hacia el núcleo o centro del átomo, hay una energía potencial (eléctrica), denominada *potencial de Coulomb*. Otra parte de la energía del electrón es la asociada al movimiento, denominada cinética. Como ocurre en la física clásica, la suma de las dos es una constante. Lo sorprendente es que el valor de esa constante en el caso cuántico no es cualquiera, toma valores muy precisos. Ese es el origen de las líneas espectrales de los elementos y de los compuestos, *un origen cuántico*, por supuesto. En general, al potencial que confina o limita a un electrón o a un objeto físico cualquiera a mantenerse dentro de una región del espacio (para el caso, la región dentro del átomo), se le denomina *pozo de potencial*, y los valores permitidos para la energía que puede tomar ese sistema físico (para el caso el electrón) están determinados por la *forma* del pozo.

Otra situación frecuente que se presenta en el micro- **y** nano-mundo es *saltar una barrera*. Así como el atleta que va a saltar un obstáculo necesita ganar una energía cinética mínima, la cual convierte mientras salta en potencial, el electrón requiere de cierta energía para pasar por ejemplo de un material, en el que está confinado, a otro. Lo extraño es que el electrón no necesita sobrepasar la barrera completa: *puede tunelar*. Puede proceder como si se hubiera abierto un boquete para que un tren o coche o lo que sea atravesase la montaña sin que el vehículo tenga que llegar a la cima, pero el túnel físico no existe. A esto se le denomina *tunelamiento cuántico*. Ese extraño comportamiento puede entenderse en dos formas equivalentes: el carácter ondulatorio de los componentes de la materia (también de átomos y moléculas) y el denominado Principio de Incertidumbre de Heisenberg, el cual nos dice que no es posible determinar simultáneamente con precisión arbitraria el valor de dos cantidades como la posición y la velocidad de una partícula, o su energía y el tiempo.

## Efecto Túnel

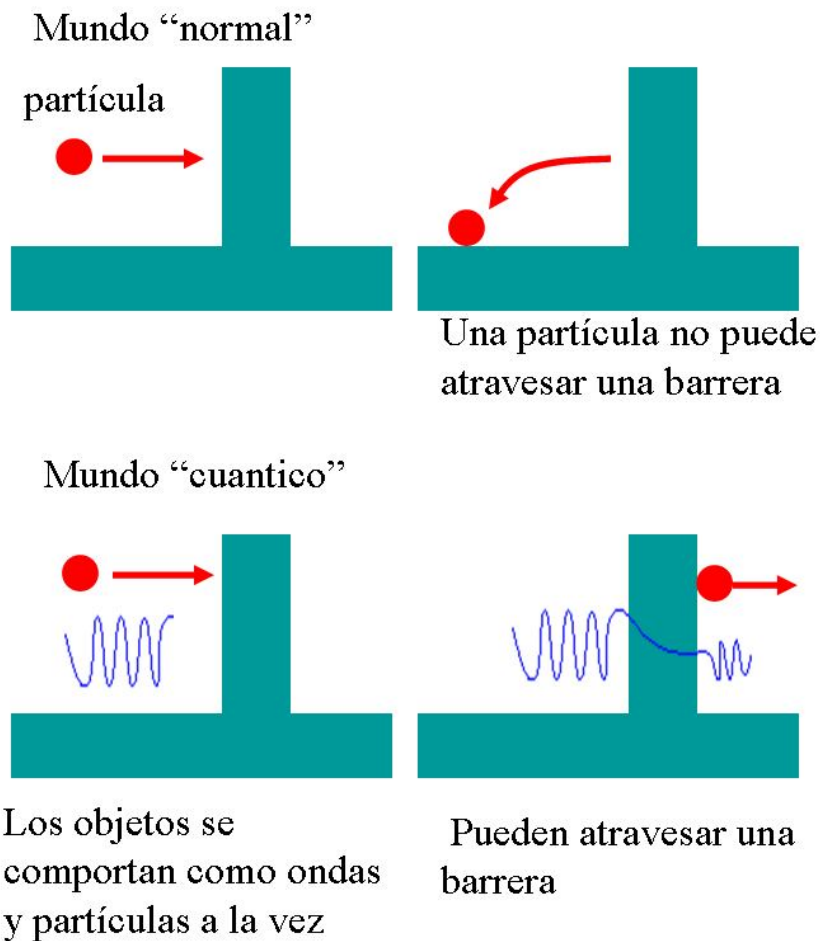


Figura 3. Explicación del efecto túnel

El STM se basa precisamente en el efecto túnel cuántico. El microscopio tiene una punta metálica que en teoría termina en un solo átomo. Dicha punta se acerca al objeto que se estudia a una distancia muy corta (aproximadamente 1 nm) pero no lo toca. Se aplica un voltaje y los electrones "tunelan" del objeto a la muestra o viceversa dependiendo de la polaridad del voltaje, produciendo una corriente que se amplifica. Con este microscopio se puede apreciar en forma general la estructura atómica.

Con el microscopio STM también es posible mover los átomos: se acerca la punta al átomo que se quiere mover y se le inyectan electrones, formando un enlace entre la punta y el átomo; luego se mueve la punta con el átomo al lugar donde se quiere colocar este; al extraer electrones del átomo, se rompe el enlace entre la punta y aquel; cuando se mueve la punta de nuevo, puede dejarse el átomo en el lugar deseado. Este microscopio cumple con la predicción de Feynman de que es posible manipular la materia a nivel atómico; con el STM se pueden fabricar nanoestructuras

moviendo un solo átomo a la vez. Forzoso es reconocer que este es un procedimiento muy artesanal.

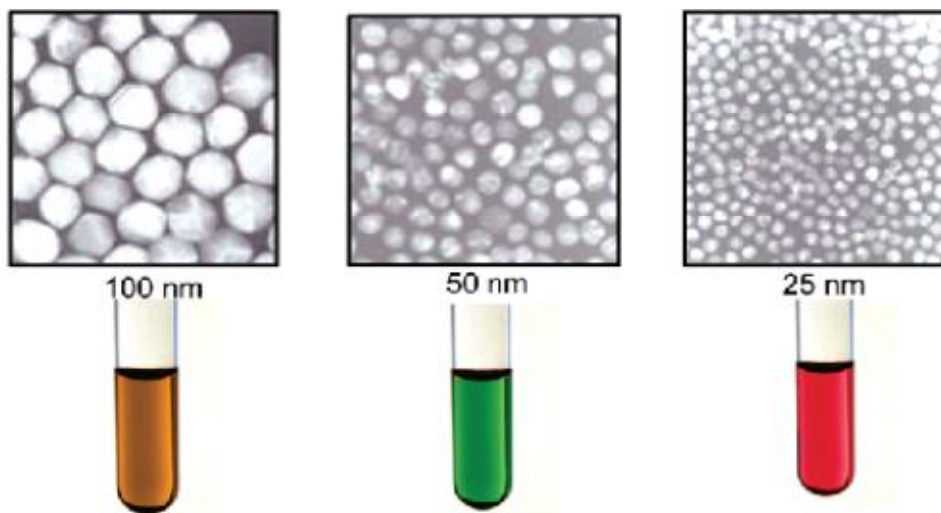
Hay otros métodos físicos que permiten la fabricación de nanoestructuras, tales como la epitaxia de haces moleculares, técnica que permite la fabricación de estructuras controlando el grosor, pues se pueden depositar capas hasta de un solo átomo de espesor. También se pueden fabricar nanoestructuras usando métodos químicos, algunos de los cuales se describirán con más detalle en algunas prácticas de esta guía. O se puede recurrir a seres vivos como plantas o bacterias. Por ejemplo, hay bacterias que si se ponen a que se reproduzcan en ambientes ricos en hierro, forman nanoestructuras magnéticas en el interior de sus cuerpos, lo que les permite orientarse en el espacio. En la actualidad hay mucho interés en copiar la forma en que los seres vivos fabrican las nanoestructuras, para fabricar por ejemplo nuevos materiales. Además, como mencionamos al comienzo, las moléculas de la vida como el ADN, el ATP y otras, tienen dimensiones nanoscópicas; los tamaños de los virus son de alrededor de 100 nm; algunas macromoléculas comienzan a usarse como nanopartículas para el transporte de medicamentos y otros procesos dinámicos.

Como ya lo había señalado Feynman, las propiedades de los materiales macroscópicos son diferentes a las de esos mismos materiales en la escala nanométrica. Como ejemplo podemos mencionar el caso del oro, un metal muy usado en joyería porque es muy apreciado, debido a sus propiedades en el rango de tamaños a los que estamos acostumbrados, entre otras, ser un metal noble, por lo que no se oxida fácilmente; exhibe además un color dorado, independiente del tamaño o la forma que le dé el joyero. Las nanopartículas de oro muestran características diferentes al oro que conocemos, principalmente porque sus propiedades sí dependen del tamaño y de su forma: una nanopartícula del apreciado metal puede ser amarilla, roja o verdosa. Pero no solo cambia su color, también cambian sus otras propiedades físicas y químicas. Como mencionamos anteriormente, el oro a tamaños grandes no es reactivo; sin embargo las nanopartículas de oro son muy reactivas y por eso se pueden usar como nanocatalizadores en reacciones químicas como la oxidación del monóxido de carbono, un gas tóxico, para transformarlo en dióxido de carbono, no tóxico.

Ahora bien, ¿por qué cambian las propiedades al cambiar de escala y de forma? Una de las razones es que los nanomateriales tienen un área superficial muy grande, o en otras palabras, en un nanomaterial muchos de los átomos son superficiales, por lo que su comportamiento no es el mismo que el del material en bloque. Esto es importante en procesos como la absorción de la luz, o en catálisis, cuando las interacciones importantes ocurren en las superficies: eso hace que participen del proceso un mayor número de átomos. Una segunda razón estrechamente relacionada con la anterior es que a esos tamaños los efectos cuánticos son importantes; ya hemos mencionado algunos. En general, en la región atómica o en la nanoescala, la materia se comporta de manera diferente a como la hace a gran escala. Partículas como los electrones a

veces se comportan como ondas; también sucede lo contrario, la luz que se había interpretado como una onda electromagnética, al interactuar con la materia se comporta muchas veces como una partícula a la cual llamamos fotón.

Algo muy parecido ocurre en el caso de las nanoestructuras, por lo que se suele hablar de puntos cuánticos, hilos cuánticos y pozos cuánticos, respectivamente, para referirse a nanopartículas, nanoalambres y películas ultradelgadas (de una o unas pocas monocapas, vale decir, capas de moléculas de un cierto material): sus electrones solamente pueden ocupar niveles de energía muy definidos. Al igual que con los electrones en los átomos, en los cuales sus niveles de energía dependen del átomo de que se trate, de su número de electrones y protones entre otros factores, en el caso de las nanoestructuras la separación entre niveles de energía depende de su tamaño y de su forma. Es una manifestación del confinamiento cuántico; esa es la razón por la cual algunas de las propiedades de las nanoestructuras, ópticas, magnéticas, en general físicas y químicas o fisicoquímicas, dependen de su tamaño y de su forma: a la postre son propiedades determinadas por la física cuántica.



*Figura 4. Nanopartículas de oro de distintos tamaños y su color*

Una vez que hemos destacado algunos aspectos del comportamiento y de las propiedades de estructuras nanométricas, aunque no hay un acuerdo, es conveniente referirse a las definiciones en boga y, por qué no, intentar una propia si las otras no nos satisfacen. Empecemos por el término más común, nanotecnología. Transcribimos en primer lugar la definición que se da en la página oficial de Estados Unidos, la *National Nanotechnology Initiative* (NNI): "Nanotecnología es la comprensión y control de la materia en la nanoescala, a dimensiones aproximadamente entre 1 y 100 nm, donde fenómenos únicos permiten aplicaciones novedosas. Abarcando ciencia, ingeniería y tecnología nanoescalar, la nanotecnología comprende imagenología,

modelamiento y manipulación de la materia en esta escala de longitud.” (<http://www.nano.gov/nanotech-101/what>).

El Dr. Rolph Allenspach, de IBM (Zurich), la define de esta manera: “Nanotecnología es la habilidad para diseñar y controlar la estructura de un objeto en todas las escalas de longitud desde el átomo hasta el mundo macro”. En líneas generales podemos definir nanociencia como el estudio del comportamiento de la materia en la nanoescala, a dimensiones aproximadamente entre 1 y 100 nm y la nanotecnología como las aplicaciones de la nanociencia.

## LAS APLICACIONES

Para terminar esta introducción, vamos a referirnos a unas pocas aplicaciones. La nanotecnología hoy incide en casi todos los aspectos de nuestras vidas; por eso se la reconoce como la gran revolución tecnológica del siglo XXI. Sus aplicaciones se encuentran en varias etapas de desarrollo. Algunas propiedades de nuevos nanomateriales apenas se están estudiando en los laboratorios de investigación, otras ya se encuentran en pruebas, mientras que muchas más ya se encuentran en el mercado.

Casi todos los aparatos electrónicos tienen aplicaciones en la nanotecnología, desde los pequeños reproductores de archivos mp3 (conocidos como “mp3s”) donde se guarda la música hasta los gigantescos televisores de más de 60 pulgadas. En los reproductores **mp3** la información se guarda gracias a un fenómeno físico llamado magnetorresistencia gigante, que aparece cuando tenemos un material no magnético entre dos materiales magnéticos de grosores en los nanómetros. En las pantallas de televisión más modernas se usan diodos emisores de luz; y en las ultradelgadas, diodos orgánicos emisores de luz (OLEDs); ambas son aplicaciones de la nanotecnología.

A veces requerimos de nuevos materiales que sean muy resistentes, pero a la vez livianos. Algunas nanoestructuras tienen esas propiedades, podemos citar por ejemplo los nanotubos de carbono y el grafeno. Esta clase de materiales se usan mucho en artículos deportivos, por ejemplo en bicicletas y raquetas de tenis; se puede ver un comercial de una raqueta de tenis de grafeno con el tenista Djokovic. Hay varias aplicaciones de la nanotecnología en trajes, en general en textiles que no se manchan o no se mojan o no se arrugan, o simplemente resistentes a condiciones extremas.



*Figura 6. Raqueta de tenis de grafeno*

Las aplicaciones en la medicina son evidentemente de gran importancia porque se relacionan con algo tan fundamental como lo es la preservación de la salud. Debido al tamaño de las nanoestructuras, éstas podrían usarse para el transporte de medicinas. De esta manera se podrían reducir efectos secundarios que afectan negativamente nuestro cuerpo. Se ha avanzado en el uso de nanopartículas para quemar tumores cancerígenos, o mejor, matar las células que manifiestan la enfermedad: se usa nanopartículas de sílica recubiertas por oro, las cuales se funcionalizan con alguna proteína afín a las células cancerígenas, por lo cual una vez introducidas en el cuerpo humano van directamente hacia ellas. Luego se ilumina la región con radiación infrarroja, inocua para el cuerpo humano; debido a su tamaño, las nanoestructuras absorben la radiación, calentándose y quemando los tumores incipientes. También se pueden usar nuevos materiales nanoestructurados en prótesis, o para recubrir los dientes evitando la caries.

La nanotecnología también puede ayudar en la generación de energías limpias, por ejemplo en la fabricación de celdas solares más eficientes, como las de multicapas. Aunque menos eficientes que las celdas solares de silicio, la nanotecnología se puede usar en otro tipo de celdas solares como las orgánicas, las cuales son flexibles y más económicas. También podría usarse para el almacenamiento de hidrógeno, un gas que se menciona como el combustible ideal debido a que durante su combustión, se obtiene como residuo solamente agua. Sin embargo, debido a que es un gas de muy poca densidad, su almacenamiento es muy complicado.

En fin, la nanotecnología puede usarse en una cantidad muy grande de aplicaciones y como mencionamos anteriormente, se piensa que va a detonar una nueva revolución tecnológica en el siglo XXI. Las consecuencias que tendrá esta revolución en las relaciones sociales, en las formas de vida, en la agricultura y la salud, en las

comunicaciones y el transporte, en el medio ambiente, en la democracia, en la libertad de conciencia, en la educación, en pocas palabras en *el futuro de la humanidad* son todavía impredecibles. Como toda nueva tecnología puede tener algunos riesgos, los cuales no se deben olvidar y debemos recordar que los avances tecnológicos no deben afectar negativamente nuestro planeta: puede ser la oportunidad para salvarlo o para hacer de él un lugar invivible, al menos para nuestra especie. Las guías que ofrecemos se inscriben en la primera opción.

## REFERENCIAS GENERALES SOBRE NANOTECNOLOGÍA

### Libros, artículos, revistas y páginas web

R. Feynman, "There's Plenty of Room at the Bottom", Caltech Engineering and Science, Volume 23:5, February 1960, pp 22-36.  
(<http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>)

K.E. Drexler, "La nanotecnología: el surgimiento de las máquinas de creación" (GEDISA, 1993)

Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology (IWGN), "Nanotechnology: Shaping The World Atom By Atom" (WTEC, Loyola College, 1999)  
<http://www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Public.Brochure/IWGN.Nanotechnology.Brochure.pdf>

M.E. Calafat, "Nanomateriales", Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fís. Nat. (Esp), Vol. 97, N.º 2, pp 271-287 (2003). Accesible en <http://www.rac.es/ficheros/doc/00429.pdf>

M.I. Montero, I.K. Schuller, "Nanoestructuras: un viaje de tres a cero dimensiones", Revista Española de Física, 17(2), 35-39 (2003).

J.A. Martín-Gago, ¿Se pueden 'ver' los átomos? De la entelequia a la realidad, Apuntes de Ciencia y Tecnología 6, 36 (2003). Disponible en [http://www.icmm.csic.es/esisna/?page\\_id=107](http://www.icmm.csic.es/esisna/?page_id=107)

T. Shelley, "Nanotecnología. Nuevas promesas, nuevos peligros" (El viejo topo, 2006).

C. Mijangos y J. S. Moya (coord.) (2007), "Nuevos materiales en la sociedad del siglo XXI", (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 2007).  
<http://www.csic.es/web/guest/coleccion-divulgacion>

"Mundo Nano, Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología", Editores: Gian Carlo Delgado y Noboru Takeuchi. Esta publicación semestral dedicada a la nanotecnología es editada desde 2008 por la Universidad Nacional Autónoma de México a través del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades y el Centro de Nanociencia y Nanotecnología.

<http://www.mundonano.unam.mx>

J.A. Martín Gago, P.A. Serena, C. Briones y E. Casero "Nanociencia y nanotecnología: entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro" (FECYT, 2008).

(<http://www.oei.es/salactsi/udnano.pdf>)

N. Takeuchi, "Nanociencia y nanotecnología: la construcción de un mundo mejor átomo por átomo" (Fondo de Cultura Económica, México, 2009)

Suzeley Leite Abreu Silva, Marcelo Machado Viana e Nelcy Della Santina Mohallem: "Afimial, o que é Nanociência e Nanotecnologia? Uma Abordagem para o Ensino Médio". Química Nova na Escola, v. 31, n. 3, pp. 172-178 (2009).

Galo Soler Illia, "Nanotecnología, el desafío del siglo XXI" (Buenos Aires, Eudeba, 2010)

P.A. Serena, "¿Qué sabemos de la Nanotecnología? (Editorial La Catarata y el CSIC, Madrid, 2010).

J. Tutor Sánchez, V. Velasco Rodríguez, J.M. Martínez Duart, "Una Tecnología del Presente y del Futuro: Nanotecnología". Journal Boliviano de Ciencias, Vol. 8, Nro. 23 (2011).

J. Darío Tutor Sánchez y Alexys Bruno Alfonso, "El Nitruro de Galio y sus Aleaciones: ¡y se hizo la luz.....azul!" Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología. Vol. 5, No 1, Enero-Junio (2012).

G. Foladori, N. Invernizzi, "Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina", ReLANS-IPEN, (2012)

<http://es.scribd.com/doc/89540340/Nanotecnologia-Esp>

P.A. Serena, "La Nanociencia y la Nanotecnología: en la frontera de lo pequeño". Revista Española de Física 27 (1), pp. 29-33 (2013).

E. González, V. Puentes, "El color en la nanoescala y su dependencia con el tamaño, composición y la forma de los nanomateriales", Arquitectura del Nanocosmos, (Ed. Nanocitec, 2013).

E. E. González, "La nueva era de los nanomateriales", Revista Nano Ciencia y Tecnología, Vol. 1, No. 1, p. 34-45 (2013).

([http://www.revistanano.org/index\\_htm\\_files/Revista%20nanoNo%201%20Gonzalez.pdf](http://www.revistanano.org/index_htm_files/Revista%20nanoNo%201%20Gonzalez.pdf)).

J.A. Martín-Gago; P.A. Serena Domingo; C. Briones Llorente; E. Casero Junquera, "El nanomundo en tus manos: Las claves de la Nanociencia y la Nanotecnología" (Colección Drakontos, Editorial Critica, Madrid, 2014).



J.J. Giraldo, "¿Nano qué? Nano-revolución" (Colección Primeros Pasos, Ediciones Desde Abajo, 2015).

Información sobre nanopartículas en la web "Nanoparticles", <http://nanoparticles.org/>

### **Programas de televisión**

Eduardo Punset. "Nanotecnología (El mundo de arriba a abajo)". Programa Redes. (<http://www.youtube.com/watch?v=eCxHJ4rKMGQ>. Consulta 15 de Julio de 2014.)

P.A. Serena y B. del Águila. Serie "¿Qué sabemos de la Nanotecnología?", CANAL UNED TV (<https://canal.uned.es/serial/index/id/875>)



## **CAPÍTULO 3**

### **ALGUNAS CUESTIONES A TENER EN CUENTA EN LOS PROCESOS DE COMUNICACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA**

P.A. Serena

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM)

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

c/ Sor Juana Inés de la Cruz 3, Campus de Cantoblanco, 28049-Madrid, España.

Correo electrónico: [pedro.serena@icmm.csic.es](mailto:pedro.serena@icmm.csic.es)

#### **RESUMEN**

En este capítulo se ponen de manifiesto los diversos problemas que condicionan el proceso de comunicación e intercambio de información de los contenidos que son propios de la nanotecnología. Además de los inconvenientes también se muestran algunas de las ventajas que pueden ser aprovechadas por el/la profesor/a para facilitar el proceso de comunicación.

#### **INTRODUCCIÓN**

La nanociencia y la nanotecnología son disciplinas que han emergido con gran fuerza y que han pasado en breve tiempo de ser conocidas por una pequeña parte de la comunidad científica a ser consideradas pilares de la siguiente revolución tecnológica e industrial, recibiendo por ello una mayor atención de diferentes sectores de la sociedad. Como se ha descrito en el anterior capítulo, estas disciplinas plantean, a partir del conocimiento multidisciplinar del nanomundo, la creación de nuevos materiales y dispositivos que manifiestan nuevas propiedades o que mejoran notablemente sus características. Los desarrollos a nivel de laboratorio han alimentado las expectativas sobre lo que la nanociencia y la nanotecnología pueden llegar a hacer, lo que ha impulsado una verdadera explosión de inversiones desde gobiernos y empresas, que se han traducido en innumerables publicaciones científicas y un sinfín de patentes [1]. Como consecuencia de estas inversiones, acumulación de conocimiento e implicación de las empresas, han empezado a aparecer de manera paulatina una gran cantidad de productos en el mercado que son solo el anticipo de una verdadera avalancha de los mismos que se hará realidad en las próximas décadas inundando nuestras tiendas y supermercados. Ejemplos de estos productos se

encuentran catalogados por la Fundación Woodrow Wilson International Center for Scholars en un extenso y creciente repositorio [2].

Sin embargo, la llegada al mercado de los productos basados en la nanotecnología (“nanoproductos”) puede estar condicionada por una serie de factores relacionados con su impacto medioambiental, su posible toxicidad y los riesgos existentes durante la manipulación por parte de trabajadores [1,3]. Estos factores, sin duda alguna, pueden condicionar la percepción de la nanotecnología por parte de la sociedad fomentando actitudes de rechazo ante la llegada de los nanoproductos [4]. Las reacciones por parte de algunos países y organizaciones internacionales ante esta posible situación adversa se ha desarrollado en varios frentes: se ha impulsado el desarrollo de recomendaciones, normas y códigos de conducta [5], se ha favorecido la puesta en marcha de proyectos o programas completos dedicados a calibrar impactos negativos en salud y medioambiente [6], se han potenciado los estudios sobre la gobernanza de la nanotecnología [7], se han promovido iniciativas para establecer un dialogo con la población sobre los avances que se están produciendo en estas disciplinas [8,9], y se han puesto sobre la mesa algunas iniciativas de cierto calado en materia de formación universitaria y pre-universitaria.

En este contexto que evoluciona con gran rapidez se considera que la divulgación y la formación en nanociencia y nanotecnología deben realizarse de forma paralela a las investigaciones que tienen lugar en los laboratorios de universidades y empresas. Sin embargo, en el caso de los países de Iberoamérica las iniciativas conducentes a poner en marcha de estrategias y programas específicos de divulgación o de formación pre-universitaria en nanociencia y nanotecnología han sido más bien escasas y han tenido un alcance limitado [10].

La presente Guía Didáctica pretende cubrir un vacío que en otros países o regiones ya se comenzó a llenar hace bastante tiempo (más de una década) mediante el diseño de ambiciosos planes para fomentar la enseñanza de la nanotecnología en contextos tanto formales como informales. Ejemplos, muy diferentes entre sí, de estos planes de “nanoeducación” se pueden encontrar en EE.UU [11] o Taiwán [12]. Por otro lado, comenzar con cierto retraso la puesta en marcha de iniciativas en el ámbito de la “nanoeducación” tiene ciertas ventajas ya que se puede evolucionar más rápidamente al tomar como ejemplo las iniciativas desarrolladas con anterioridad que han tenido más éxito e impacto. Se debe destacar que la estrategia elegida en esta Guía Didáctica, la de elaborar fichas didácticas dirigidas al profesorado para que sea éste el que se convierta en el divulgador de la nanotecnología, ya ha sido puesta en marcha por diferentes entidades tanto en EE.UU [11] como en la Unión Europea [13].

## **LOS OBSTÁCULOS PARA LA COMUNICACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA**

La divulgación y la formación de la nanociencia y la nanotecnología requieren de procesos de comunicación que presentan problemas u obstáculos específicos que deben tenerse en cuenta en el diseño de las distintas actividades divulgativas y formativas. Estos problemas, que ya han sido señalados en diferentes estudios [9, 14-18], se pueden resumir en los siguientes puntos:

- El manejo de una escala de tamaños increíblemente pequeña
- Las técnicas de visualización de átomos y moléculas y los métodos de fabricación de nanoestructuras se basan en complejos fenómenos físicos y químicos
- El carácter multidisciplinar de la nanociencia y la nanotecnología
- La ineludible presencia de conceptos abstractos
- La existencia de dos términos, nanociencia y nanotecnología, que se usan sin tener en cuenta sus implicaciones
- La existencia de efectos vinculados al tamaño y la forma de los objetos
- La existencia de ideas preconcebidas sobre la nanotecnología

A continuación se describen con algo más de detalle cada una de estas barreras que dificultan el intercambio de conceptos que se manejan en la nanociencia y la nanotecnología.

### **El manejo de una escala de tamaños increíblemente pequeña**

La nanociencia y la nanotecnología se desarrollan en un escenario de pequeñas dimensiones: el nanomundo o la nanoescala. En otras ocasiones se han usado los términos “nanouniverso” o “nanoverso” para referirse al mismo escenario. En cualquier caso, se trata de trabajar con entidades que poseen tamaños nanométricos (recordemos que un nanómetro es la milésima parte de una micra, la millonésima parte de un milímetro o la milmillonésima parte de un metro). Sin embargo, los seres humanos entienden y manejan con cierta habilidad tamaños y distancias cercanos a su experiencia vital: desde décimas de milímetros hasta cientos de kilómetros. Por encima y por debajo de estos tamaños y distancias, la percepción se hace más confusa y es difícil entender realmente lo que significa un año-luz o un nanómetro. En el caso de los objetos con tamaños micrométricos o de las estrellas relativamente cercanas, los instrumentos ópticos convencionales (microscopios y telescopios) permiten acercarnos, como observadores, a lo pequeño y a lo grande. Sin embargo, el nanomundo o el universo profundo, por poner ejemplos opuestos, ya solo son observables a través de equipos muy especializados que no son familiares o no resultan accesibles al público en general.

Por lo tanto la comunicación de la nanotecnología pasa, en primer lugar, por vencer la barrera del “infratamaño”, aquello que no se ve con los microscopios ópticos que

están al alcance de centros escolares. Para superar esta barrera se debe profundizar en el conocimiento de las relaciones de tamaños existentes entre objetos familiares y cercanos, extrapolando de manera progresiva estas relaciones hacia tamaños que son menos habituales, como los del micro y nanomundo.

### **Las técnicas de visualización de átomos y moléculas y los métodos de fabricación de nanoestructuras se basan en complejos fenómenos físicos y químicos**

A la vez que se profundiza en el manejo de escalas pequeñas de tamaño se hace evidente que la observación y la manipulación de objetos diminutos requieren el desarrollo de una instrumentación compleja y sofisticada, basada en conceptos diferentes de los usados para observar y manipular la materia en la escala habitual en la que los seres humanos nos desenvolvemos. En el mundo macroscópico y en el microscópico se utiliza la luz como sonda con la que observar la naturaleza. Sin embargo la luz visible, cuya longitud de onda típica supera los centenares de nanómetros, no se puede utilizar para descubrir los secretos del nanomundo. De esta manera, en la nanoescala, aparecen nuevas técnicas de visualización (como los microscopios de efecto túnel, que en realidad no se basan en el uso de luz) o nuevos esquemas de manipulación de la materia (como las pinzas ópticas) o de fabricación de estructuras (como el autoensamblado molecular o la nanolitografía electrónica). Es importante conocer y transmitir que la conquista del nanomundo requiere unas tecnologías adecuadas que, lamentablemente, no son asequibles para los centros de educación primaria y secundaria. En algunos casos, esta carencia puede suplirse con visitas a centros de investigación o facultades de universidades cercanas.

### **El carácter multidisciplinar de la nanociencia y la nanotecnología**

La nanotecnología es un punto de encuentro entre diversas disciplinas (física, química, biología, ingeniería, medicina, etc.) ya que todas tienen como base común la existencia de átomos y moléculas como elementos fundamentales con los que explicar el funcionamiento de los sistemas que son objeto de su estudio. Átomos y moléculas forman entidades superiores como nanoestructuras y macromoléculas que, a su vez, configuran entidades de mayor tamaño, como orgánulos o dispositivos de más complejo funcionamiento, que a su vez se articulan en sistemas mucho mayores como una célula o un procesador. Los científicos de diversas disciplinas se acercan al nanomundo desde sus diferentes perspectivas, cargados con un bagaje de conocimientos sobre metodologías y técnicas específicas, acompañados de unas jergas especializadas que describen los elementos propios de cada disciplina. Cuando los investigadores de estas disciplinas se reúnen en el punto de encuentro que representa la nanotecnología necesitan un tiempo de adaptación y aprendizaje para entender cómo se ven los problemas desde cada perspectiva, poner en común ideas, y definir mejor los objetivos de las investigaciones. El proceso de intercomunicación en los grupos multidisciplinarios es realmente complejo pero es imprescindible para poder avanzar.

Por tanto, trabajar en el nanomundo requiere una ampliación de esquemas mentales, el manejo de una amplia colección de terminología y técnicas. Es muy probable que en una conversación entre científicos que trabajan en problemas nanotecnológicos se hable de elementos que parecen distantes entre sí. Por ejemplo, en el diseño de un biosensor nos podemos encontrar en medio de conversaciones donde se manejen conceptos como la desnaturalización de una proteína, la estructura de un anticuerpo, las imágenes obtenidas mediante microscopías de fuerzas atómicas, la respuesta elástica de la macromolécula, el papel de los puentes de hidrógeno, las energías de adhesión y solvatación, el coeficiente de difusión de una molécula, o la modificación del transporte electrónico en un transistor fabricado de nanotubos de carbono o grafeno por efecto del acoplo anticuerpo-antígeno. Es evidente que la comunicación de todos estos elementos y procesos se hace mucho más compleja en un entorno multidisciplinar, pues requiere derribar barreras entre disciplinas que por lo general permanecen aisladas.

Sin embargo, este proceso de apertura de cauces de comunicación entre disciplinas, de pensar de manera global en un problema, colisiona con los métodos educativos convencionales en los que las disciplinas se enseñan por separado sin realizar conexiones entre ellas. Comunicar la nanotecnología es un reto, pues requiere el manejo con destreza de un amplio vocabulario, el conocimiento de una mayor fenomenología, y establecer puentes de manera continuada entre conceptos de campos temáticos que antes estaban aislados. Ante este nuevo paradigma el profesorado debe comenzar a profundizar en otras disciplinas y establecer (y enseñar a establecer) lazos conceptuales entre los contenidos de las mismas. Por otro lado, poner en marcha este nuevo esquema de trabajo es muy dificultoso, ya que los temarios de las asignaturas de ciencias son excesivamente rígidos y densos, y el tiempo disponible para cualquier tipo de innovación educativa es, por lo general, escaso. A esto se suma el escaso reconocimiento que la innovación en educación suele tener en los países de Iberoamérica, España y Portugal.

### **La ineludible presencia de conceptos abstractos**

Aunque la ciencia se caracteriza por la introducción de conceptos abstractos en todas sus disciplinas, la matemática, la física y la química son las que con mayor profusión lo hacen. Conceptos como energía, fuerza, entropía, potencial, y campo magnético, o esquemas intelectuales como el empleado para describir la formulación y las reacciones químicas son ejemplos de la arquitectura conceptual que se ha ido elaborando durante muchos siglos. Dada la importancia de la física y la química para explicar el nanomundo y toda la fenomenología que en él tiene lugar, es evidente que los conceptos abstractos que deben manejarse son innumerables. Además, el hecho de tratar con entidades imperceptibles al ojo humano hace que el papel de los contenidos abstractos sea mucho más relevante. Este tipo de contenidos se debe introducir por el profesor, en mayor o menor número y profundidad, en función de la madurez del alumnado interlocutor y de las necesidades del momento.

Como estrategia para evitar el desbordamiento del alumno ante la falta de contenidos más concretos, es conveniente la elaboración y el manejo de diferentes modelos que permitan ilustrar lo que ocurre en el nanomundo a partir de experiencias “macroscópicas” realizadas en el aula. Aunque la elaboración de estos ejemplos y modelos es compleja, la presente Guía Didáctica pretende, a través de sus fichas, mostrar diferentes estrategias que pueden seguirse en el aula.

### **La existencia de dos términos, nanociencia y nanotecnología, que se usan sin tener en cuenta sus implicaciones**

En muchas ocasiones se usan los dos términos de una manera poco reflexiva y esto puede dar lugar a cierta confusión. La nanociencia está relacionada con la generación de conocimiento mientras que la nanotecnología está relacionada con la aplicación de este conocimiento. Sin embargo, debido al mayor uso del término nanotecnología, es éste el que se ha impuesto y se ha extendido, englobando en la práctica tanto la faceta de generación como la de utilización del conocimiento. El mayor uso del término nanotecnología no es fortuito, ya que las grandes inversiones en nanotecnología se han querido vincular desde un principio a los beneficios prácticos que van a llegar gracias al avance del conocimiento y explotación de los fenómenos del nanomundo.

En los procesos de comunicación de la nanotecnología se debe enfatizar que, por lo general, con antelación a las realizaciones prácticas (tecnológicas) de una disciplina, se debe conseguir una masa crítica de conocimientos básicos sobre un tema. Es muy difícil llegar a conseguir avances disruptivos sin esa base de ideas y acumulación de metodologías. En el caso de la nanotecnología de la que hablamos ahora, los avances en nanociencia se han venido produciendo de manera continuada desde hace más de 50 años, en ámbitos como la catálisis, la microelectrónica, la ciencia de materiales, la biología, etc. Sin embargo, ha sido necesario tener un conjunto amplio de conocimientos, el desarrollo de ciertas herramientas (como los microscopios de efecto túnel o de fuerzas atómicas) y el interés de gobiernos y empresas para que se produzca la eclosión de lo que ahora llamamos nanotecnología.

### **La existencia de efectos vinculados al tamaño y la forma de los objetos**

Por lo general, durante el proceso de aprendizaje de las ciencias, los alumnos aprenden a relacionar las propiedades de los materiales con su composición química y, en algunos casos, con la forma en la que los átomos se encuentran ordenados. En este esquema, en raras ocasiones se vinculan las propiedades de los materiales a su tamaño y forma, ya que en los sistemas macroscópicos no existe esa relación tan evidente. Por ejemplo, un pedazo de oro es amarillo, conduce la electricidad y tiene una temperatura de fusión determinada. Si dividimos el pedazo de oro en diez pedacitos más pequeños, éstos seguirán manteniendo una coloración amarilla, seguirán



conduciendo la electricidad y mantendrán su temperatura de fusión. La intuición dice que si seguimos fragmentando los pedacitos, el oro mantendrá sus propiedades. Sin embargo, en cualquier material los átomos que se encuentran en la superficie poseen propiedades diferentes de los que están en el interior, por el simple hecho de tener un número diferente de vecinos. En el caso de un objeto macroscópico el número de átomos que se encuentran en la superficie es insignificante con relación al total de átomos que lo forman, por lo que los cambios de sus propiedades causados por los átomos superficiales son irrelevantes. Sin embargo, a medida que los objetos se hacen más y más pequeños, el porcentaje de átomos de la superficie es mayor y cuando el objeto tiene dimensiones nanométricas la superficie es la que comienza a determinar las propiedades del conjunto. Estamos hablando de los llamados "efectos clásicos de tamaño", que no son difíciles de comprender si se usan los ejemplos adecuados. En esta categoría también podemos incluir otros efectos como los que permiten aumentar de manera continuada la densidad de transistores en un procesador o de bits en un disco duro.

Sin embargo, existen otros efectos vinculados al tamaño, que son más complicados de explicar ya que tienen su origen en la naturaleza cuántica de la materia. Conceptos como "efecto túnel", "dualidad onda-corpúsculo", "función de onda", "cuantización de los niveles de energía" son difíciles de transmitir a personas sin formación científica especializada. En función de la edad del alumnado se podrá dosificar la transmisión de ciertos conceptos básicos, usando analogías con el mundo macroscópico, si es posible, o usando ejemplos que ilustren el comportamiento ondulatorio. En cualquier caso, en la transmisión de este tipo de conceptos los alumnos (y en ocasiones el profesor, según su formación) deben hacer "un acto de fe", a la vez que el profesor está obligado a mostrar la fascinación por este tipo de conceptos de nivel avanzado, dejando claro que el "manual de instrucciones" de la naturaleza ya ha sido comprendido por los seres humanos hace casi un siglo y que se denomina "mecánica cuántica".

Esta teoría nos permite entender cómo los átomos se enlazan para formar moléculas, y como éstas se ensamblan, para formar las estructuras complejas que encontramos en la naturaleza, tanto en la materia inerte como en los seres vivos. Dicha teoría también explica los fenómenos que suceden en la nanoescala, que en muchas ocasiones son sorprendentes o poco intuitivos. Se puede citar como ejemplo la dependencia de la coloración con el tamaño y forma en nanopartículas semiconductoras, la falta de validez de la Ley de Ohm cuando los cables que conducen la electricidad tienen dimensiones nanométricas o la altísima movilidad de los electrones en el grafeno. Además dicha teoría nos permite diseñar materiales y dispositivos que van a tener propiedades diferentes de los materiales y dispositivos de mucho mayor tamaño. A pesar de que la mecánica cuántica parece un conocimiento inalcanzable para las personas que no se dedican a hacer ciencia, se debe transmitir que es una teoría sólida, bien comprobada en cientos de experimentos, que permite entender nuestro mundo, y fabricar sofisticados materiales y dispositivos que nos permiten mejorar nuestra existencia.

## **La existencia de ideas preconcebidas sobre la nanotecnología**

Para finalizar el recorrido por las barreras que dificultan la comunicación de la nanotecnología, mencionaremos la existencia de ciertas ideas sobre la nanotecnología que se han insertado en el imaginario colectivo de la sociedad gracias a comics, novelas y películas de ciencia ficción, o a las informaciones (y desinformaciones) que aparecen en la prensa o en diversos foros de internet. De hecho si se realiza una búsqueda del término “nanotecnología” en internet, se encontrarán millones de páginas con informaciones diversas, unas de carácter técnico muy especializado y otras menos refinadas. Entre estas últimas abundan las visiones fantasiosas o apocalípticas sobre los efectos de la nanotecnología.

Por lo tanto existen ya muchos contenidos relacionados con la nanotecnología al alcance de la sociedad. En unos se mencionan nano-robots que curarán todo tipo de enfermedades o que serán capaces de destruir el mundo, mientras que en otros se habla de nanopartículas que permiten cambiar las propiedades de los materiales o que van a suponer una fuente más de contaminación contra la que no podremos combatir. Existen muy pocas fuentes de información equilibradas en las que simultáneamente se mencionen los aspectos positivos (beneficios) y negativos (riesgos) de los desarrollos que surjan de la nanotecnología. Por lo tanto es difícil discernir entre la realidad que supone la investigación realizada en los laboratorios y la ficción de visionarias aplicaciones o de riesgos incontrolables.

Todas estas fuentes de contenidos han inducido una serie de ideas preconcebidas a favor o en contra de la nanotecnología que pueden suponer una barrera adicional a la hora de plantear un eficiente esquema de comunicación con la sociedad (en este caso, los estudiantes de educación secundaria). En cualquier caso, la transmisión de ideas debe hacerse en un entorno en el que prime el debate planteando, con la mayor rigurosidad posible, los avances reales hechos en laboratorios, los beneficios que pueden esperarse, la inevitable aparición de riesgos, la necesidad de su control mediante normas y leyes, y la determinación de su impacto mediante estudios de índole toxicológica y medioambiental. Parte de las fichas que aparecen en la presente Guía intentan mostrar esta información sobre riesgos y beneficios de una manera equilibrada.

## **VENTAJAS ESPECÍFICAS DE LA NANOTECNOLOGÍA QUE FAVORECEN SU COMUNICACIÓN**

Hasta ahora se han mencionado algunos problemas relacionados con la comunicación de la nanotecnología. Sin embargo este proceso de comunicación también presenta unas ventajas que deben ser aprovechadas en el planteamiento de actividades de divulgación y formación. Dado que la nanotecnología es un espacio multidisciplinar en

cuanto a la temática de investigación, tiene aplicaciones en todos los sectores económicos que nos podamos imaginar. Un biólogo o un médico tenderán a incorporar los conocimientos de la nanotecnología en aplicaciones del sector salud, mientras que un físico o un ingeniero harán lo propio orientándose hacia la nanoelectrónica o la fabricación de paneles solares. Por su parte los químicos se enfocarán hacia la producción de nuevos catalizadores, materiales ultra-resistentes, nuevas baterías o nuevos productos cosméticos. Esta variedad de aplicaciones es la que hace que sea relativamente fácil encontrar ejemplos de “nanoproductos” cercanos a la vida cotidiana de las personas con las que se establece el proceso de comunicación. Por lo tanto se puede hacer que lo “nano”, aparentemente tan abstracto y lejano, muestre una cara más familiar y cercana a través de productos que son consumidos ya por la población: materiales reforzados, dispositivos electrónicos, diversos productos cosméticos, fármacos y alimentos encapsulados. En particular, el interés que todos los seres humanos tienen por su salud hace que las aplicaciones de la nanomedicina sean las que más captan el interés de los estudiantes y del público en general.

Un aspecto positivo del carácter aplicado de la nanotecnología es que esta disciplina seguramente se convierta en uno de los principales motores de la innovación en el actual siglo. De esta forma, los contenidos en nanotecnología pueden conectarse con aquellas asignaturas o programas educativos en los que la innovación se ponga en valor. Este es uno de los grandes retos que tiene la educación en todos los países de Iberoamérica, junto con España y Portugal.

Otra ventaja que tiene la comunicación de la nanotecnología, sobre todo en el aula, es que está conectada con un buen número de asignaturas, dado su carácter multidisciplinar, por lo que es relativamente fácil incluir contenidos de nanotecnología en algunas de las asignaturas a lo largo de los diferentes cursos. De esta forma es posible mostrar a los alumnos pequeñas “píldoras” de ciencia moderna que sirven para actualizar los contenidos de los programas [16] conectando la enseñanza con la ciencia que en estos momentos se lleva a cabo en centros de investigación. Esta estrategia es la que se persigue a través de las Fichas Didácticas que se plantean en la presente Guía.

Finalmente se debe tener en cuenta que es muy probable que entre los receptores más jóvenes haya una parte de los mismos que sienta cierta fascinación por la nanotecnología a través de películas, series de televisión, juegos, páginas web, etc. Este interés es una buena base sobre la que construir un buen esquema de comunicación a partir de esos conocimientos previos (positivos o negativos) y de esta forma fomentar el interés por la nanotecnología en particular y la curiosidad y el interés por la ciencia en general entre los más jóvenes. Algunas fichas de esta guía desarrollan esta estrategia.

## CONCLUSIONES

La nanotecnología es un punto de encuentro, un lugar de frontera, entre muchas disciplinas clásicas, tradicionalmente desconectadas, que comparten su interés, de manera sinérgica, por el comportamiento de la materia en la nanoescala. La nanotecnología es un burbujeante caldo de cultivo del que van a surgir nuevos materiales y dispositivos que poco a poco irán incorporándose a nuestras vidas como lo han hecho las tecnologías de la información y las telecomunicaciones. Comunicar los avances en este campo que avanza tan rápidamente no es fácil porque requiere vencer las barreras de una educación compartimentada, acercar los conocimientos básicos a los desarrollos prácticos, y derribar una serie de barreras que han sido tratadas a lo largo de este capítulo. 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 multidisciplinar, y apoyándose en la gran variedad de canales de comunicación y recursos que ya están disponibles. A su vez, la fascinación que produce la nanotecnología, junto con su gran potencial de aplicación, permiten que la aspereza de los contenidos pueda ser suavizada usando aproximaciones didácticas adecuadas.

Las Fichas Didácticas que se presentan en esta Guía Didáctica presentan algunas estrategias de comunicación que permitirán superar algunas de las barreras antes expuestas. Es evidente que estas Fichas Didácticas plantean propuestas que una vez en mano del profesorado pueden modificarse y adaptarse a las necesidades concretas de la planificación didáctica y de los requisitos del alumnado. Las Fichas deben actuar en muchos casos como un material inspirador para que los verdaderos profesionales de la enseñanza, los/as profesores/as, construyan nuevos esquemas de comunicación que permitan que los futuros/as ciudadanos/as de todos nuestros países tengan una formación más completa e integral. Además de los contenidos de la presente Guía Didáctica el profesor puede indagar en diferentes fuentes ya publicadas, unas de pago y otras de acceso gratuito, que permitan completar su visión sobre la nanotecnología [19-25].

De esta forma se forjarán ciudadanos más interesados por la ciencia. Unos, los menos, se dedicarán a la actividad investigadora, otros, también en número reducido, serán emprendedores que apuesten por la innovación basada en los nuevos conocimientos procedentes de la nanotecnología, y finalmente el grupo más amplio de ciudadanos serán consumidores críticos que se apoyen en una sólida formación y el acceso a fuentes contrastadas de información. Parece una utopía pero es la visión que a largo plazo debemos buscar para nuestra sociedad.

## REFERENCIAS

- [1] G.C. Delgado, "Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología", Ceilich, UNAM, México, 2008.

[2] "The Project on Emerging Nanotechnologies", Fundación Woodrow Wilson International Center for Scholars, <http://www.nanotechproject.org/>

[3] "Opportunities and risks of nanotechnologies", informe conjunto elaborado por Allianz AG y la OCDE, <http://www.oecd.org/science/nanosafety/37770473.pdf>

[4] J. Gómez-Ferri, "La comprensión pública de la nanotecnología en España", Revista iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad 20, 177 (2012). Accesible en <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4185447>

[5] Comisión Europea, "Commission recommendation on a code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research & Council conclusions on Responsible nanosciences and nanotechnologies research", 2009.

Accesible en [http://ec.europa.eu/research/science-society/document\\_library/pdf\\_06/nanocode-apr09\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/nanocode-apr09_en.pdf)

[6] H.F. Krug y P. Wick, "Nanotoxicology: An Interdisciplinary Challenge", Angew. Chem. Int. Ed. 50, 1260 – 1278 (2011). Accesible en <http://nanosaude.ensp.fiocruz.br/sites/default/files/Nanotoxicology%20An%20Interdisciplinary%20Challenge.pdf>

[7] H. Vessuri, "Gobernabilidad del riesgo de la convergencia tecnológica", Tecnología y Construcción 25, 79 (2009).

Accesible en [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_tc/article/view/2588/2483](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_tc/article/view/2588/2483)

[8] Proyecto NANODIODE de la Unión Europea (<http://www.nanodiode.eu/about-nanodiode/>).

[9] Comisión Europea, "Communicating Nanotechnology: Why, to whom, saying what and how?" (2010).

Accesible en [ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/communicating-nanotechnology\\_en.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/communicating-nanotechnology_en.pdf)

[10] J. Tutor Sánchez, P.A. Serena, "Situación de la divulgación y la formación en nanociencia y nanotecnología en Iberoamerica", Mundo Nano 4 (2), 12-17, 2011.

Accesible en <http://www.mundonano.unam.mx/pdfs/mundonano7.pdf>

[11] Nanotechnology National Initiative, Documentación y enlaces a las iniciativas de nanoeducación en EE.UU., <http://www.nano.gov/education-training>

[12] Chih-Kuan, W. Tsung-Tsong, L. Pei-Ling, S. Hsu, IEEE Trans. on Education 49, 141 (2006).

[13] El proyecto NANOYOU de la UE pone a disposición de los docentes diferentes guías y recursos en la web <http://nanoyou.eu/es/nanodocentes.html>

[14] C.A. Batt, A.M. Waldron, N. Broadwater, "Numbers, scale and symbols: the public understanding of nanotechnology", J. Nanopart Res 10,1141–1148 (2008).

[15] M.C. Sánchez-Mora y J. Tagüena, "El manejo de las escalas como obstáculo epistemológico en la divulgación de la nanociencia", *Mundo Nano* 4 (2), 83 (2011). Accesible en <http://www.mundonano.unam.mx/pdfs/mundonano7.pdf>.

[16] P.A. Serena, "La Nanociencia y la Nanotecnología: en la frontera de lo pequeño", *Revista Española de Física* 27, 29 (2013).

[17] P.A. Serena, "Una experiencia en nanoeducación: el taller 'Explorando el nanomundo'", *Momento Revista de Física*, No. 46E, 73-83 (2013).

Accesible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/38752/1/41986-192818-1-PB.pdf>

[18] J. Gómez-Ferri, J.M. de Cózar Escalante, R. Llopis-Goig, "La comunicación pública de ámbitos científicos y tecnológicos emergentes. Problemas y retos en el caso de la nanotecnología", *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura* 190-766, marzo-abril 2014.

Accesible en <http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/1925/2192>

[19] J.A. Martín-Gago, E. Casero, C. Briones, P.A. Serena, "Unidad Didáctica Nanociencia y Nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro", *Fundación Española de Ciencia y Tecnología*, Madrid, 2008.

Accesible en <http://www.oei.es/salactsi/udnano.pdf>

[20] M.T. de los Arcos, "La era del camaleón", Editorial Síntesis, Madrid, 2008.

[21] A. Menéndez, "Una revolución en miniatura: Nanotecnología al servicio de la humanidad", *Servicio de Publicaciones de la Universitat de València*, Valencia, 2010.

[22] P.A. Serena, "¿Qué sabemos de la Nanotecnología?", Editorial La Catarata y CSIC, Madrid, 2010.

[23] N. Takeuchi, *Nanociencia y nanotecnología: la construcción de un mundo mejor átomo por átomo* (2009), Fondo de Cultura Económica, México, 2010,

[24] F. Martínez-Navarro, J.C. Turégano, "Unidad Didáctica 'Los polímeros y la nanotecnología'", *Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información del Gobierno de Canarias*, Las Palmas de Gran Canaria, 2011.

Accesible en [http://www.cienciasmc.es/web/pdf/u8\\_nuevos\\_materiales.pdf](http://www.cienciasmc.es/web/pdf/u8_nuevos_materiales.pdf)

[25] J.A. Martín-Gago, C. Briones, E. Casero, P.A. Serena, "El nanomundo en tus manos. Las claves de la nanociencia y la nanotecnología", *Colección Drakontos*, Editorial Crítica, 2014.

## **CAPÍTULO 4**

### **FICHAS DIDÁCTICAS**

Este Capítulo incluye todas las Fichas Didácticas que diversos autores han diseñado, agrupadas en cinco grandes bloques temáticos:

- BLOQUE I. FUNDAMENTOS DE LA NANOTECNOLOGÍA. NANOESCALA. EFECTOS DE TAMAÑO Y FORMA.
- BLOQUE II. NANOMATERIALES Y NANODISPOSITIVOS. PROPIEDADES Y MÉTODOS DE FABRICACIÓN.
- BLOQUE III. MÉTODOS PARA OBSERVAR Y CARACTERIZAR LOS OBJETOS DE LA NANOESCALA.
- BLOQUE IV. APLICACIONES DE LA NANOTECNOLOGÍA.
- BLOQUE V. IMPLICACIONES SOCIALES. RIESGOS. PRECAUCIÓN. NORMATIVA.

Cada ficha, tal y como se ha descrito en el Capítulo 1, puede usarse en diferentes asignaturas. Para facilitar a l@s docentes la elección adecuada de las fichas, se muestra en las siguientes páginas una tabla que proporciona una serie de datos de interés sobre cada ficha: la duración de las actividades, las edades de l@s alumn@s a las que van dirigidas, la dificultad para su desarrollo, y las asignaturas en las que sus contenidos se pueden insertar con más facilidad.





## TABLA CON LA CONEXIÓN DE LAS FICHAS DIDÁCTICAS CON LAS ASIGNATURAS DE EDUCACIÓN SECUNDARIA Y BACHILLERATO

Clave de la ficha	Título de la ficha	Edades de los estudiantes	Duración de la actividad (minutos)	Nivel de dificultad	Ciencias de la Naturaleza (Secundaria)	Física y Química (Secundaria)	Biología (Bachillerato)	Geología (Bachillerato)	Física (Bachillerato)	Química (Bachillerato)	Matemáticas	Tecnología / Electrotecnia / Pretecnología	Ciencias Sociales	Historia / Historia del Arte	Filosofía / Ética / Religión	Educación Artística
I.1	ESCALAS: UN PASEO DE LO GRANDE A LO PEQUEÑO	12-16	45	BAJO	X	X	X		X	X	X	X				
I.2	LA IMPORTANCIA DE LOS EFECTOS DE TAMAÑO EN NANOTECNOLOGÍA	12-18	60	BAJO	X	X	X		X	X	X	X				

I.3	EL TAMAÑO Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES DE LOS NANOSISTEMAS	08-16	45	BAJO	X	X			X	X	X	X					X
I.4	NANOMATERIALES DE CARBONO	14-18	55	MEDIO	X	X	X		X	X	X	X					
I.5	LA NANOESCALA EN LOS SERES VIVOS	12-16	180	MEDIO	X		X				X						X
I.6	SUPERFICIES SUPERHIDROFÓBICAS: EFECTO LOTO	12-16	60	BAJO	X	X			X	X	X	X					
II.1	EFEITO DE TYNDALL EM SOLUÇÕES COLOIDAIAS DE OURO	14-18	150	MEDIO		X			X	X							
II.2	SÍNTESES DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA (AgNP)	14-18	45	MEDIO		X	X		X	X							

II.3	SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA RECUBIERTAS DE CITRATO. ESTABILIDAD EN SOLUCIONES DE DISTINTA COMPOSICIÓN	15-17	60	MEDIO	X	X			X	X		X				
II.4	SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS DE ÓXIDO DE HIERRO	15-17	120	ALTO	X	X			X	X		X				
II.5	MOLDEO DE SUPERFICIES NANO / MICROESTRUCTURADA S. INTERACCIÓN DE LA LUZ VISIBLE CON NANOPATRONES SUPERFICIALES	12-16	50	MEDIO	X	X			X	X		X				
II.6	MICROTÚBULOS: NANOESTRUCTURAS MULTIFUNCIONALES	16-18	120	ALTO	X	X	X		X	X		X	X			
III.1	MICROSCOPIOS DE FUERZAS ATÓMICAS: LOS OJOS DEL NANOMUNDO	14-18	50	MEDIO	X	X	X		X	X		X				

III.2	<b>NANOSCOPIAS: MICROSCOPIAS PARA HACER VISIBLE LO INVISIBLE</b>	14-18	55	MEDIO	X	X		X	X	X		X	X			
III.3	<b>LA IMPORTANCIA DE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN LAS NANOCIENCIAS</b>	12-16	60	MEDIO	X	X	X	X	X	X		X				
IV.1	<b>LA NANOTECNOLOGÍA DE NUESTROS ANTEPASADOS</b>	12-18	45	BAJO		X			X	X		X	X	X		X
IV.2	<b>NANOPARTÍCULAS Y SU USO PARA CONSTRUIR UN NANOSENSOR</b>	14-18	60	MEDIO		X			X	X		X				
IV.3	<b>¿NANOCOSMÉTICOS?</b>	12-16	150	MEDIO	X	X	X		X	X		X	X		X	X
IV.4	<b>LOS NANOMATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN</b>	14-18	60	MEDIO		X				X		X				X

V.1	NANOTECNOLOGÍA: LA REVOLUCIÓN DE LO CHIQUITO	12-16	45	BAJO	X	X	X		X	X		X	X	X	X	
V.2	NANOTECNOLOGÍA EN LA SOCIEDAD. OPORTUNIDADES Y RIESGOS	12-16	90	BAJO	X	X						X	X		X	
V.3	LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL DEL SIGLO XXI: OPORTUNIDADES DE LA NANOTECNOLOGÍA	12-16	150	MEDIO	X	X						X				
V.4	LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL DEL SIGLO XXI: RIESGOS DE LA NANOTECNOLOGÍA	12-14	150	MEDIO	X	X	X		X	X		X				
V.5	ASPECTOS ÉTICOS Y SOCIALES DE LA NANOTECNOLOGÍA: NANOPÁNICO O NANOEUFORIA	16-18	90	BAJO			X									X
V.6	IMPLICACIONES SOCIALES, RIESGOS, PRECAUCIÓN, NORMATIVA	16-18	120	BAJO			X		X	X	X	X				X

V.7	EMPLEO DE PELÍCULAS DE CINE PARA ABORDAR LAS IMPLICACIONES ÉTICAS DE LA NANOTECNOLOGÍA EN LA SOCIEDAD	14-18	180	BAJO	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X
-----	---	-------	-----	------	---	---	---	---	---	---	--	---	---	--	---	---

# **ESCALAS: UN PASEO DE LO GRANDE A LO PEQUEÑO**

A. Asenjo Barahona, J.A. Martín Gago, P.A. Serena\*

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM)

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

c/ Sor Juana Inés de la Cruz 3, Campus de Cantoblanco, 28049-Madrid, España.

\*Correo electrónico autor de contacto: [pedro.serena@icmm.csic.es](mailto:pedro.serena@icmm.csic.es)

## **FICHA I.1**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

Esta ficha presenta un sencillo ejercicio mental en la que un alumno es hipotéticamente reducido/aumentado de tamaño, lo que permite transmitir algunas nociones básicas sobre las escalas de medida adecuadas para observar distintos objetos y establecer relaciones entre unidades de medida como metro, kilómetro, milímetro, etc. La actividad permite introducir los conceptos de nanómetro, nanoescala, nanomundo y nanotecnología, y sirve para presentar los constituyentes fundamentales de la materia que nos rodea, átomos y moléculas, e introducir algunos términos propios de la nanotecnología.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 12-16**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: BAJO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 45 minutos**

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- La ficha didáctica pretende hacer llegar a los alumnos nociones básicas sobre las escalas de medida adecuadas para observar distintos tipos de objetos.
- Los alumnos debe aprender a establecer relaciones entre diferentes unidades de medida.
- Los alumnos se familiarizarán con conceptos como nanómetro, nanoescala, nanomundo y nanotecnología.

- Los alumnos deberán consolidar su conocimiento sobre los constituyentes fundamentales de la materia que nos rodea y de la que estamos formados: átomos y moléculas.

## **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Biología (Bachillerato)
- Matemáticas
- Tecnología

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deben poseer conocimientos previos de las unidades de longitud y de algunos de los prefijos usados en ciencia. Los alumnos deben dominar los conceptos de metro, kilómetro, centímetro, y milímetro. Esta ficha junto con las fichas I.2 y I.3 son básicas para introducir los fundamentos de la nanotecnología.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Esta ficha debe ser una de las primeras en ser trabajadas en el aula ya que introduce los conceptos de nanómetro y nanoescala.

## **MATERIALES**

- Una cinta métrica
- Una regla
- Materiales complementarios (ver última sección de esta ficha)

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

Esta actividad propone un juego mental en el que los alumnos van a realizar un viaje imaginario por diferentes escalas realizando “saltos” en el que el tamaño de los objetos aumenta o disminuye un factor 1000. Una parte de las actividades se puede



realizar con el apoyo de la presentación proporcionada como material complementario.

Se comienza asumiendo que un alumno tiene un tamaño de un metro para simplificar las operaciones. Esto permite transmitir la importancia de hacer redondeos y simplificaciones en algunos ejemplos para facilitar las operaciones. Se recuerda a los alumnos el tamaño que corresponde a 1 m usando una cinta métrica y midiendo algún objeto cuyo tamaño sea cercano a 1 m. Comenzamos aplicando un hipotético aumento de un factor 1000 a un alumno y preguntando a los alumnos por el tamaño resultante. La respuesta debe ser 1000 metros, es decir, un kilómetro ( $1\text{km} = 1000\text{ m}$ ). Se puede recordar que el prefijo "kilo" hace referencia a 1000 unidades. Los alumnos están familiarizados con distancias medidas en kilómetros y se pueden poner ejemplos de distancias a lugares o localidades cercanos. Es importante que los alumnos entiendan que si tuviesen una altura de un kilómetro, los edificios que nos rodean tendrían un tamaño relativo bastante pequeño con respecto del alumno aumentado. Por ejemplo, un estadio de fútbol tendría para este alumno gigante el tamaño que tiene, aproximadamente, un libro para una persona normal.

Tras esta primera fase de aumento, se propone una reducción de un factor 1000 a nuestro alumno gigante. En este caso se debe llegar a la conclusión de que el alumno debe recuperar su tamaño normal (1 m). Ahora volvemos a aplicar al alumno una reducción de un factor 1000. Se pueden plantear en el aula preguntas sobre el tamaño resultante para conocer la respuesta de los alumnos. El alumno resultante medirá un milímetro ( $1\text{ mm}=0,001\text{ m}$ ). Se usará la regla para recordar a los alumnos el tamaño equivalente a un milímetro. Es importante que los alumnos discutan sobre aquellos objetos que ahora tendrían un tamaño similar al del alumno reducido. Una hormiga o un grano de arena serían objetos que tendrían tamaños similares al del alumno reducido. De hecho una hormiga sería, por lo general, más grande que el alumno reducido al tamaño de 1 mm. Se puede mencionar, como curiosidad, la película "Cariño, he encogido a los niños" ("Honey, I shrunk the kids" como título original) del director Joe Johnston. En la misma, un científico reduce el tamaño de sus hijos usando una máquina con potentes láseres. Es importante comentar que dicha máquina no existe en realidad y que es producto de la imaginación de escritores de relatos de ciencia-ficción. En la misma línea se puede mencionar la película "Un viaje alucinante" ("Fantastic Voyage") de Richard Fleischer.

Ahora se realiza la propuesta de volver a reducir a nuestro alumno otro factor 1000. Se pregunta a los alumnos sobre el tamaño resultante. El alumno habrá pasado a medir un micrómetro o micra, la milésima parte de un milímetro o la millonésima parte de un metro ( $1\text{ micrómetro} = 1\mu\text{m} = 0,001\text{ mm} = 0,000001\text{ m}$ ). En función de la edad de los alumnos se puede usar la notación exponencial  $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$ . Es interesante que los alumnos reflexionen sobre los objetos que tienen tamaños típicos de una micra: bacterias, células de nuestros tejidos, etc. Es decir el alumno reducido al tamaño de

una micra vería a las bacterias o a las células como entidades con un tamaño mayor al suyo. En este punto se puede recordar que un alumno con el tamaño de una micra no se podría ver a simple vista y que se necesitaría un instrumento especial para su observación: el microscopio óptico. Se puede mencionar la aparición del prefijo "micro" en la palabra microscopio. Los objetos que tienen tamaños cercanos a la micra forman parte de lo que podemos llamar "microescala" o "micromundo". Las tecnologías que se necesitan para manipular estos objetos se pueden denominar "microtecnologías". Esta palabra no se suele utilizar pero sí resulta más familiar el término de "microelectrónica". El profesor puede realizar preguntas sobre diferentes dispositivos que se usan hoy en día y que están fabricados usando las tecnologías propias de la microelectrónica.

Finalmente el profesor propone una nueva reducción de un factor mil de nuestro alumno de tamaño micrométrico (o "microalumno"). El resultado será un alumno con un tamaño 1000 veces más pequeños que una micra o un millón de veces más pequeño que un milímetro. Estamos hablando de un nanómetro ( $1 \text{ nm} = 0,001 \text{ }\mu\text{m} = 0,000001 \text{ mm} = 0,000000001 \text{ m}$ ). En función de la edad de los alumnos se puede usar la notación exponencial,  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ . En este momento se debe recordar que el prefijo griego "nano" significa diminuto. Nuevamente se debe preguntar a los alumnos sobre los objetos que tendrían un tamaño similar al de nuestro alumno ultra-reducido. Dichos objetos son átomos y moléculas. Para nuestro "nanoalumno" un átomo tendría el tamaño de un balón de baloncesto, aproximadamente. Éste es un buen momento para recordar, en función del nivel académico de los estudiantes, que todo lo que nos rodea está hecho con átomos que pertenecen a diversas especies químicas y que dichas especies, que no son muchas, están catalogadas en la denominada "Tabla Periódica de los elementos". A su vez los átomos se combinan entre sí para formar moléculas con estructuras sencillas, como el agua, el amoníaco o el monóxido de carbono, o muy complejas como el ADN o una proteína.

Los objetos que tienen tamaños cercanos a la micra forman parte de lo que podemos llamar "nanoescala" o "nanomundo". La tecnología que nos va a permitir manipular estos objetos se pueden denominar nanotecnología. Algunos de los objetos que se usan en nanotecnología también incluyen el prefijo "nano" en su denominación, y por eso en el nanomundo nos encontramos con nanotubos de carbono, nanopartículas, nanomateriales, etc.

Es importante que los alumnos se den cuenta del proceso aplicado para llegar a la nanoescala mediante tres reducciones consecutivas de tamaño de un objeto de un metro, en cada una de las cuales el factor de reducción es 1000. Si se desea que el alumno con tamaño 1nm ("nanoalumno") recobre su tamaño original se tendría que aplicar una serie de tres procesos de aumento en cada uno de los cuales el factor de aumento es 1000, o también un único aumento con un factor 1.000.000.000 ( $10^9$ ).

Es interesante que los alumnos midan objetos con una regla o una cinta métrica y expresen la cantidades medidas tanto en centímetros como en nanómetros. Se puede explicar también que el prefijo “nano” se puede usar ante otras unidades y podemos hablar de nanosegundos, nanoNewton, etc. Puede ser interesante pedir a los alumnos que calculen en segundos el tiempo que transcurrido en un nanosiglo (1 nanosiglo = 3,15 nanosegundos).

Llegados a este punto la actividad que ha permitido hacer un recorrido por diferentes escalas ha llegado a su fin.

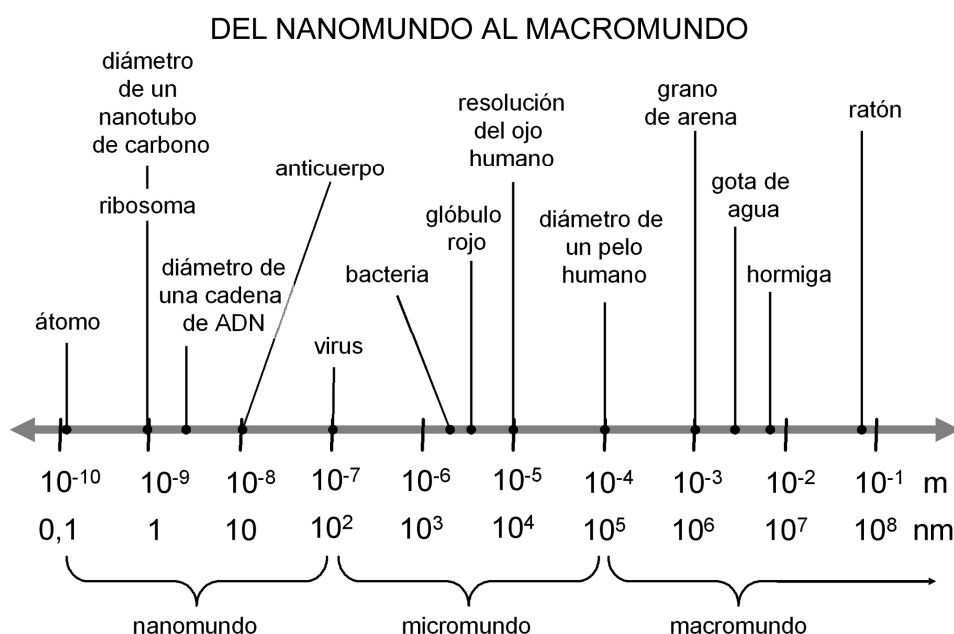


Figura 1. Imagen con la escala de longitud (ver presentación con materiales complementarios).

## PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD

### Una reflexión.

El profesor puede plantear a los alumnos la siguiente cuestión para que reflexionen en sus hogares para establecer un posterior debate en el aula. Si un alumno está formado por átomos, como el resto de la materia, y su tamaño se reduce hasta tener una altura de un nanómetro, ¿mantendría su forma y composición? La respuesta es, evidentemente, no. Un “nanoalumno” estaría formado aproximadamente por un par de decenas de átomos, por lo que más bien sería una especie de molécula, sin órganos, ni capacidad de realizar funciones biológicas, ni pensar... Esta es una de las razones por

las que la reducción de objetos o personas hasta estos tamaños es algo imposible: dejarían de ser los objetos o las personas que conocemos en el mundo macroscópico.

### **Un sencillo ejercicio para alumnos más avanzados.**

Este es un ejercicio para que los alumnos realicen bien en el aula o bien en su casa. El profesor puede mostrar una memoria de tipo "pendrive", con una capacidad típica de 4 a 16 GBytes. Puede explicar que un Gigabyte son 1000 millones de bytes y que un byte es una unidad de información que contiene 8 bits (unidades mínimas de información que pueden tomar los valores 0 ó 1 en una codificación binaria). Con estos datos se puede estimar la superficie de un "pendrive" (del orden de un centímetro cuadrado) y con algunas sencillas operaciones la superficie que ocupa un solo bit. Si se asume que un bit tiene forma cuadrada se puede determinar el lado de dicho bit. Con este ejercicio se puede ver que los dispositivos que nos rodean ya tienen elementos con dimensiones nanométricas. Este mismo ejercicio se puede extender a un CD, un DVD u otros dispositivos de almacenamiento en los que sea relativamente fácil determinar su superficie de grabación de datos. Es interesante comparar cómo ha evolucionado la densidad de almacenamiento de datos.

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

El desarrollo de esta actividad no presenta riesgos.

## **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- M.C. Sánchez-Mora y J. Tagüeña, "El manejo de las escalas como obstáculo epistemológico en la divulgación de la nanociencia", Mundo Nano Vol. 4, No. 2, julio-diciembre, p. 83 (2011).  
Accesible en:  
<http://www.revistas.unam.mx/index.php/nano/article/view/45011/40573>
- J.A. Martín Gago, P.A. Serena, C. Briones y E. Casero "Nanociencia y nanotecnología: entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro" (FECYT, 2008). Accesible en <http://www.oei.es/salactsi/udnano.pdf>
- Se recomienda realizar un viaje por diferentes escalas usando la aplicación "The Scale of the Universe" creada por M. Huang y C. Huang (accesible en <http://htwins.net/scale2/>). Atención, este material tiene textos en inglés.

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Se proporciona un material complementario consistente en un conjunto de diapositivas que permitirán apoyar las explicaciones del docente. El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina "Anexos - Ficha Didáctica – I.1 – MC.ppt".

# LA IMPORTANCIA DE LOS EFECTOS DE TAMAÑO EN NANOTECNOLOGÍA

A. Asenjo Barahona, J.A. Martín Gago, P.A. Serena\*

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM)

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

c/ Sor Juana Inés de la Cruz 3, Campus de Cantoblanco, 28049-Madrid, España.

\*Correo electrónico autor de contacto: [pedro.serena@icmm.csic.es](mailto:pedro.serena@icmm.csic.es)

## FICHA I.2

### RESUMEN DE LA ACTIVIDAD

Esta ficha propone, a través de una serie de ejemplos, mostrar cómo el tamaño de los objetos condiciona algunas de las propiedades de los mismos. Se mostrará que estos efectos se hacen más importantes en la nanoescala, siendo precisamente, su aprovechamiento lo que proporciona un gran valor a la nanotecnología.

### OBJETIVOS DIDÁCTICOS

- La ficha didáctica pretende que los alumnos adquieran unos conceptos básicos sobre la relación existente entre el tamaño de los objetos y algunas de sus propiedades.
- Los alumnos se familiarizarán con algunos efectos clásicos de tamaño.
- En el caso de alumnos que cursen el último año de bachillerato se podrá introducir el concepto de "efectos cuánticos" de tamaño.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 12-18**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: BAJO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 1 hora**

## **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Biología (Bachillerato)
- Matemáticas
- Tecnología

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deben poseer conocimientos previos de las unidades de longitud y de algunos de los prefijos usados en ciencia. En el caso de introducir los denominados efectos cuánticos, es deseable que los alumnos estén familiarizados con conceptos básicos de ondas (longitud de onda, correlación entre longitud de onda y color en el caso de ondas electromagnéticas en el espectro visible).

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Las Fichas I.1, I.2 y I.3 son básicas para realizar una introducción a la nanotecnología.

## **MATERIALES**

- Materiales complementarios (ver última sección de esta ficha)

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

### **Introducción**

La nanociencia y la nanotecnología tienen como objetivo entender y utilizar, respectivamente, la forma en la que la materia se comporta cuando se presenta en forma de objetos y estructuras de tamaño nanométrico. El desarrollo de estas disciplinas requiere la invención de nuevas tecnologías de síntesis, fabricación, observación y caracterización de la materia, que permitan tener el control de la "nanoescala" es decir, el rango de tamaños comprendido entre la décima de nanómetro y unos pocos cientos de nanómetros. Pero ¿por qué se realiza tanto esfuerzo para investigar en nanoestructuras y nanomateriales? Desde el punto de vista de la nanociencia, el objetivo es evidente, ya que la ciencia se preocupa de entender la naturaleza de una manera más o menos alejada de sus posibles aplicaciones. Sin embargo esto no ocurre con la nanotecnología, ya que este término lleva implícito el

uso de esos conocimientos para obtener algún provecho de los mismos. El interés por hacer de forma controlada las cosas con tamaño más y más pequeño tiene una explicación evidente: a medida que la materia es troceada en unidades más y más diminutas presenta una serie de nuevas propiedades que necesitan ser entendidas y que pueden explotarse. Estas nuevas propiedades son las que han permitido acuñar la expresión "lo 'nano' es diferente". Dado que las propiedades están condicionadas por el tamaño de los objetos, se dice que esta influencia se debe a los denominados "efectos de tamaño". Con esta actividad el profesor debe ser capaz de transmitir a los alumnos una serie de ejemplos que permitan asimilar un concepto básico en nanociencia y nanotecnología: el control de la materia a escala nanométrica proporciona el control de sus propiedades y, por tanto, de sus aplicaciones.

El desarrollo de la actividad se contempla como una secuencia de ejemplos, con apoyo de una presentación que se adjunta a esta ficha como material complementario. Dichos ejemplos permiten presentar los principales efectos de tamaño, que se pueden dividir en dos grandes tipos: efectos clásicos y efectos cuánticos. La comprensión de los efectos clásicos es relativamente fácil por alumnos de edad superior a los 12 años, lo que no ocurre con los efectos cuánticos, cuya comprensión requiere una mayor madurez por parte del alumnado siendo más fácil su explicación a estudiantes de más de 16 años, que posean algunos conocimientos sobre ondas, ondas electromagnéticas, el origen de los colores presentes en la luz visible, etc.

### **Efectos clásicos de tamaño (1). Más pequeño: más reactivo.**

El/la docente comienza la actividad haciendo que alumnos y alumnas reflexionen sobre si es más difícil disolver un azucarillo tal cual o si la misma cantidad de azúcar es de tipo glas (en polvo). La respuesta mayoritaria del alumnado será la segunda, pues a través de su experiencia cotidiana las personas intuyen que las sustancias fragmentadas se disuelven mejor. El/la docente explicará que la reactividad de un material está relacionada con varios factores, pero uno es la superficie que dicho material tiene para interaccionar con otras sustancias. La explicación continuará mencionando que la superficie expuesta de un volumen dado de material crece a medida que dicho material es troceado más y más. El/la docente propondrá un pequeño ejercicio en el que un cubo de un metro de lado se divide (mediante 3 cortes) en 8 cubos idénticos de 0,5 m de lado. Se puede demostrar fácilmente que el volumen total se conserva: 8 fragmentos con un volumen de  $0,5 \times 0,5 \times 0,5 \text{ m}^3$  cada uno equivalen a un metro cúbico. Sin embargo durante el proceso de división la superficie pasa de  $6 \text{ m}^2$  a  $12 \text{ m}^2$  ( $8 \times 6 \times 0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$ ). Si este proceso de división se realizase de nuevo sobre cada uno de los 8 cubos de 0,5 m de lado se puede demostrar fácilmente que el volumen se mantiene pero que la superficie del conjunto de los 64 nuevos cubos ahora es  $24 \text{ m}^2$  ( $64 \times 6 \times 0,25 \times 0,25 \text{ m}^2$ ). Cada nuevo proceso de división mantiene el volumen pero duplica la superficie. Si fuésemos capaces de hacer cubitos de 1 nm de lado (para lo cual necesitaríamos herramientas propias de la nanotecnología) es evidente que el volumen no cambiaría pero la superficie total de

los cubitos sería de  $6 \times 10^9 \text{ m}^2$  (es decir ¡una superficie equivalente a la de un rectángulo de 60 km x 100 km!).

La explicación de esta sección de la ficha didáctica se terminará explicando que una de las razones por las que es interesante hacer nanopartículas es su gran superficie relativa, y de esta forma un mismo volumen de material posee muchas más superficie efectiva y proporciona mayor rendimiento en procesos químicos en los que es importante tener una gran reactividad. Esto es lo que se busca con los catalizadores, que son sustancias que permiten acelerar las reacciones químicas para aumentar la cantidad de productos obtenidos mediante dichas reacciones. Por esta razón las nanopartículas se usan como catalizadores en vehículos y en procesos de refinado de petróleo. En otras fichas de la Guía Didáctica se muestra como se sintetizan diferentes tipos de nanopartículas y es recomendable que el/la docente conecte los contenidos de dichas fichas didácticas con los de ésta.

### **Efectos clásicos de tamaño (2). Más pequeño: más poder de penetración.**

El/la docente continuará la explicación mostrando que una de las ventajas de hacer los objetos muy pequeños es que aumenta su capacidad para moverse a través de huecos o canales de pequeñas dimensiones. De esta forma una nanopartícula de 20 nm de diámetro puede pasar por un poro de 100 nm, cosa que no puede hacer una célula que tiene un tamaño típico de unas pocas micras. De esta forma, el control del tamaño de materiales y dispositivos permite llegar a sitios que es imposible de otra manera. Es evidente que una de las aplicaciones de las nanopartículas es la de poder llegar al interior de una célula, lo que permite su uso en medicina tanto como marcadores que permiten el diagnóstico de enfermedades como portando fármacos. Por otro lado, el mayor poder de penetración de los “nanoobjetos” hace que, en ocasiones, sustancias indeseadas o tóxicas puedan llegar al interior de las células.

### **Efectos clásicos de tamaño (3). Más pequeño: más poder de filtración.**

Todos los/as estudiantes saben lo que es un colador o un tamiz usado en cocina. Es un útil instrumento que impide el paso de objetos o partículas de ciertos tamaños. El tamaño de los poros (agujeros) del colador determina el tamaño mínimo de los objetos que son retenidos. Se mencionará que en la actualidad existen membranas de diferentes materiales (cerámicas, poliméricas, fibras de carbono, metálicas) que presentan una estructura llena de poros que permiten su uso como filtros o como separadores de sustancias. Si los poros tienen un tamaño  $0.1 - 10 \mu\text{m}$  se habla de microfiltración y en estos casos es posible impedir el paso de células y bacterias. Si los poros tienen tamaño inferior a los 100 nm se habla de nanofiltración y entonces es posible impedir el paso de virus. Por lo tanto, en la medida que seamos capaces de controlar el tamaño del poro en una sustancia seremos capaces de construir membranas capaces de filtrar de manera más eficiente líquidos y gases.



#### **Efectos clásicos de tamaño (4). Más pequeño: más capacidad de procesamiento de datos.**

En esta sección, el/la profesora debe mencionar que en los últimos 50 años la electrónica ha avanzado a un ritmo increíble y que en este periodo de tiempo se ha pasado de construir procesadores (o chips) que integraban un puñado de transistores a los modernos procesadores que usamos en computadores, vehículos y teléfonos celulares o móviles que incluyen varios cientos de millones de transistores. El/la docente explicará que un transistor es un pequeño elemento que constituye la base de la electrónica actual y que su misión es la de regular el flujo de electrones aplicando un potencial igual que un grifo regula el flujo de agua mediante el giro de una llave de paso.

Pero ¿cómo ha sido posible integrar millones y millones de transistores en un chip? ¿Por qué es interesante ubicar tantos transistores en un espacio tan pequeño? El/la docente propondrán una pequeña experiencia en el salón o aula. Cinco o seis alumnos/as formarán una fila y se pasarán un trozo de papel empezando por el primer alumno y terminando por el alumno situado en el extremo opuesto de la fila. En un primer momento los alumnos estarán a una distancia pequeña unos de los otros, pero luego se pedirá que repitan la transmisión del trozo de papel separándose unos metros de forma que deban desplazarse para entregar el trozo de papel. El/la docente explicará con este ejemplo que cuando los transistores o los elementos que realizan operaciones con la información (los alumnos en el caso de la experiencia) están muy separados, la información tarda más en llegar a su destino. Haciendo los transistores más y más pequeños, y situándolos más y más cerca unos de otros se logra que la velocidad conjunta de procesamiento sea mayor y además se logra integrar un mayor número de transistores en la misma superficie, lo que aumenta la potencia de cálculo. Esta disminución de los componentes de los chips se logra mediante sofisticadas técnicas de miniaturización. El/la docente deben mencionar que los procesadores que actualmente se utilizan en computadoras y teléfonos tienen un tamaño de unas pocas decenas de nanómetros. Las tecnologías que más se usan hoy en día para fabricar procesadores son de 32 y 22 nm, y las grandes empresas ya están diseñando los procesadores con tecnología de 14 nm. El/la docente debe recordar que en realidad es más correcto hablar ya de “nanoelectrónica” que de “microelectrónica”, y que para que esta revolución haya tenido lugar los seres humanos han desarrollado sofisticadas técnicas y herramientas que permiten “dibujar” y “tallar” los transistores y otros elementos de los circuitos cada vez con menor tamaño y una mayor precisión.

#### **Efectos clásicos de tamaño (5). Más pequeño: mayor capacidad de almacenamiento.**

En esta sección, el/la profesor/a debe pedir a los alumnos que mencionen sistemas usados por sus padres o abuelos para almacenar y oír canciones y que los comparen con los que emplean ellos. El/la docente ordenará las respuestas cronológicamente: discos de vinilo, cintas magnéticas, disco flexible, discos duros, disco compacto (CD),

DVD, memorias flash, unidades pendrive, etc., indicando que a medida que transcurre el tiempo los bits que almacenan digitalmente la información se han ido haciendo más y más pequeños gracias a las herramientas propias de la microelectrónica (ahora ya nanoelectrónica). En este momento se pueden plantear a los alumnos una pequeña encuesta sobre la capacidad de las tarjetas de memoria de sus teléfonos celulares. Como ejercicio para realizar en el aula o hacer en casa se puede pedir a los/as alumnos/as que calculen las horas de música (en formato mp3) que se pueden almacenar en discos duros de 1 GBytes y 1 TBytes, asumiendo que el tamaño típico de una canción son 4 MBytes y una canción tiene una duración promedio de 4 minutos. El/la docente aprovechará la ocasión para recordar el significado de los prefijos “mega”, “giga” y “tera”.

### **Efectos cuánticos de tamaño.**

Llegados a este punto el/la docente puede optar por finalizar o continuar la actividad en función de la edad y conocimientos de los/as alumnos/as. Sin embargo es recomendable que los/as docente hagan el esfuerzo por transmitir la existencia de los efectos cuánticos de tamaño. En primer lugar el/la docente debe eliminar el temor al término “cuántico”. Primero se recordará que la física que se estudia en el bachillerato es la denominada “física clásica”, originada en el trabajo de grandes sabios como Galileo, Copérnico, Newton, Laplace, etc., y nos permite entender el movimiento de los planetas o de los fluidos, y construir máquinas y motores. A continuación se debe mencionar que la mecánica cuántica es una disciplina que estudian físicos y químicos en las universidades, y que tiene ya casi un siglo de vida. Grandes científicos han contribuido al desarrollo de la mecánica cuántica durante el siglo XX: Planck, Einstein, Schrödinger, Heisenberg, Dirac, Bohr y Von Neumann. Se puede usar la comparación de la mecánica cuántica como el “manual de instrucciones” de la naturaleza, manual que nos permite entender cómo se enlazan los átomos para formar moléculas y así explicar el comportamiento de toda la materia que nos rodea. La mecánica cuántica permite entender cómo interaccionan los átomos y cómo éstos comparten electrones para enlazarse, cómo se mueven estos electrones por los materiales, cómo se origina el magnetismo, etc. Con las anteriores explicaciones el/la docente mostrarán que la mecánica cuántica está muy relacionada con la nanociencia y la nanotecnología, ya que átomos y moléculas son protagonistas de las dos disciplinas. Además, la mecánica cuántica interpreta el comportamiento de la materia mediante el principio de la dualidad onda-corpúsculo, y por lo tanto las partículas presentan también efectos ondulatorios, lo que hace que tengan algunas propiedades sorprendentes. Dado el nivel formativo de los alumnos, el/la docente no deberá profundizar más en este tema y estas afirmaciones deben ser asumidas como “actos de fe”, y se pueden recomendar algunas lecturas para los alumnos más interesados en el tema.

Para ilustrar, más que explicar, el concepto de efectos cuánticos de tamaño a estudiantes de bachillerato se propone hacer una analogía entre el comportamiento de los tubos de órgano y el de las nanopartículas de material semiconductor que emiten luz de colores diversos en función de su tamaño. El/la docente preguntará en el

aula si conocen los que es un órgano y si saben qué tipo de sonido, grave o agudo, emiten los tubos en función de su tamaño. Para hacer esta analogía también se puede usar como ejemplo otro tipo de instrumento como una quena andina. El/la docente recordará que los tubos largos y gruesos emiten notas graves, mientras que los tubos delgados y estrechos emiten sonidos más agudos. Es decir, cada tubo de órgano emite una onda sonora que tiene una cierta frecuencia que depende de la geometría del tubo. Las ondas sonoras que corresponden a sonidos graves tienen una frecuencia menor que las de las ondas correspondientes a las ondas asociadas a los sonidos agudos. El/la docente enfatizará que en el caso de un órgano o una quena nos encontramos ante un fenómeno de emisión de una onda (sonora) por parte de un objeto macroscópico y cómo sintonizamos una propiedad de la onda (su frecuencia) mediante el uso de tubos de distinto tamaño. Ahora, el/la docente está en disposición de explicar los efectos cuánticos de tamaño que se observan en nanopartículas de materiales semiconductores. En el caso de las nanopartículas nos encontramos ante nanoobjetos que poseen ciertos niveles electrónicos (análogos a los que se observan en átomos y moléculas). La frecuencia de la luz emitida (una onda, electromagnética en este caso) por una nanopartícula depende de la separación de estos niveles, niveles que a su vez dependen del tamaño de la nanopartícula. Cuando el tamaño del nanoobjeto disminuye aumenta la separación entre los niveles de energía, aumentando la energía de la onda emitida y su frecuencia, por lo que el color de la luz emitida será azulado (zona azul-violeta del espectro óptico). Si el tamaño de la nanopartícula es mayor, se debe mencionar que la separación entre niveles disminuye y de esta forma la luz emitida posee menor energía y por lo tanto tiene menor frecuencia, lo que produce una coloración rojiza (zona anaranjada-rojiza del espectro visible).

La idea fundamental que el/la docente debe transmitir es que con técnicas propias de la nanotecnología actualmente es posible controlar el tamaño y la forma de muchos tipos de nanoobjetos y obtener propiedades “a medida” tanto ópticas, como mecánicas, electrónicas o magnéticas. En el caso concreto mostrado en el aula, las nanopartículas de materiales semiconductores se pueden usar como marcadores ópticos para la diagnosis de enfermedades o para mejorar el rendimiento de pantallas de televisión o paneles solares. Otros nanomateriales como el grafeno o los nanotubos de carbono tienen unas sorprendentes propiedades que sólo pueden explicarse mediante la mecánica cuántica.

### **Consideraciones finales: la conexión entre la biología y la nanotecnología.**

Para finalizar el/la docente planteará en clase una serie de cuestiones: ¿Qué tamaño típico tiene una célula? ¿Qué tamaño típico tienen los orgánulos que hay dentro de una célula? ¿Qué espesor tiene la membrana celular? ¿Qué tamaño tiene una cadena de ADN? Con las respuestas y consiguiente debate los/as alumnos/as deben reflexionar sobre las funciones que se llevan a cabo dentro de las células y como estas son realizadas por “nanomáquinas” como los ribosomas o necesitan el soporte de algunas nanoestructuras como las proteínas o las membranas celulares. Entender el

funcionamiento de estos componentes básicos para la vida es fundamental para la nanotecnología porque de esta forma se pueden aplicar algunas de las estrategias seguidas por las estructuras biológicas en el diseño de nanomateriales y nanodispositivos.

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

### **Un sencillo ejercicio.**

Los/as alumnos/as deben realizar una sencilla búsqueda en internet para obtener información sobre el número de transistores que hay en un procesador. Se puede proporcionar la referencia [http://en.wikipedia.org/wiki/Transistor\\_count](http://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count) para facilitar la búsqueda. En este enlace se muestra la evolución de los procesadores desde hace varias décadas, indicándose el número de transistores que están integrados en cada procesador, la superficie que ocupa el procesador, el tipo de tecnología usada, etc. Cada alumno/a elegirá un procesador concreto de la lista y realizará una sencilla estimación de la superficie que corresponde a cada transistor en el procesador. Se puede determinar de esta forma cómo ha evolucionado el tamaño de los transistores a lo largo de los últimos 30 años. Por otro lado es interesante que los/as alumnos/as observen la diferencia en el número de transistores entre procesadores usados en computadores personales o teléfonos móviles y los usados en consolas de juego. El/la docente puede plantear un ejercicio inverso en el que los/as estudiantes estimen el número de transistores que puede haber en un procesador de  $1\text{ cm}^2$ , si cada uno de los transistores ocupase un tamaño equivalente al de un cuadrado de 20 nm de lado.

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

El desarrollo de esta actividad no conlleva riesgos.

## **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- J.A. Martín Gago, P.A. Serena, C. Briones y E. Casero. "Nanociencia y nanotecnología: entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro" (FECYT, 2008). Accesible en <http://www.oei.es/salactsi/udnano.pdf>
- P.A. Serena, "La Nanociencia y la Nanotecnología: en la frontera de lo pequeño". Revista Española de Física 27 (1), pp. 29-33 (2013).
- R. Miranda. "Efectos cuánticos de tamaño y su importancia para la reactividad y estabilidad de nanoestructuras", Revista Madrid I+D 35, marzo-abril 2006. Accesible en <http://www.madrimasd.org/revista/revista35/tribuna/tribuna1.asp>
- La Ley de Moore en el enlace [http://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Moore](http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Moore)

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Se proporciona un material complementario consistente en un conjunto de diapositivas que permitirán apoyar las explicaciones del docente. El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina "Anexos - Ficha Didáctica – I.2 – MC.ppt".



# EL TAMAÑO Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES DE LOS NANOSISTEMAS

C. V. Landauro\*, M. Pillaca, J. Rojas

Grupo de Investigación en Materia Condensada, Facultad de Ciencias Físicas,  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM)

Av. Germán Amezaga 375. Lima 1, Perú.

\*Correo electrónico autor de contacto: [clandauros@unmsm.edu.pe](mailto:clandauros@unmsm.edu.pe)

## FICHA I.3

### RESUMEN DE LA ACTIVIDAD

Mediante esta ficha se propone mostrar, a través de una serie de ejemplos, que al modificar el tamaño de los objetos, cambian las propiedades de los mismos. Además, se muestra que ello se debe principalmente al borde (superficie) de los objetos estudiados. Finalmente se indica que estos efectos son más drásticos en la nanoescala. Por ello es posible aprovechar estos cambios en las propiedades para lograr innovaciones tecnológicas importantes para la sociedad.

### OBJETIVOS DIDÁCTICOS

- Con el uso de la ficha didáctica se pretende conseguir que los alumnos adquieran los conceptos básicos sobre la relación que existe entre el tamaño de los objetos y sus propiedades.
- Los alumnos reconocerán que la causa principal de la variación de la propiedad de los objetos es su borde (superficie), la cual es más relevante cuando el sistema es más pequeño. Con ello se induce lo que ocurre en la nanoescala.
- Para el caso de los alumnos mayores de 12 años se podrán cuantificar los efectos superficiales en forma de porcentajes, determinando relaciones de dependencia entre la propiedad y el tamaño del mismo.
- Para el caso de los alumnos de años superiores (bachillerato) se puede introducir objetos con formas más complejas y/o porosas donde se evidencie que la influencia del borde (superficie) sobre la propiedad del objeto es mucho más dramática.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 8-16**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: BAJO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 45 minutos**

### **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Biología
- Matemáticas
- Tecnología
- Educación artística

### **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deben poseer conocimientos previos de las unidades de longitud y de algunos de los prefijos usados en ciencia. Además, los más pequeños deben saber contar, sumar y pintar con cierta facilidad para que puedan desarrollar la actividad fluidamente.

### **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Las Fichas I.1 y I.2 son también adecuadas para llevar a cabo una introducción a la nanotecnología y el concepto de escalas.

### **MATERIALES**

A continuación se enumeran los materiales (por alumno) que se requieren para desarrollar la siguiente guía:

- 1 pincel fino.
- Lápices de color rojo y amarillo.
- 2 frascos (tipo gotero) de temperas: uno de color amarillo y otro de color rojo.
- 5 vasijas pequeñas para combinar las temperas.
- Materiales de limpieza: frasco con agua, servilletas, etc.
- Materiales complementarios (ver última sección del documento)

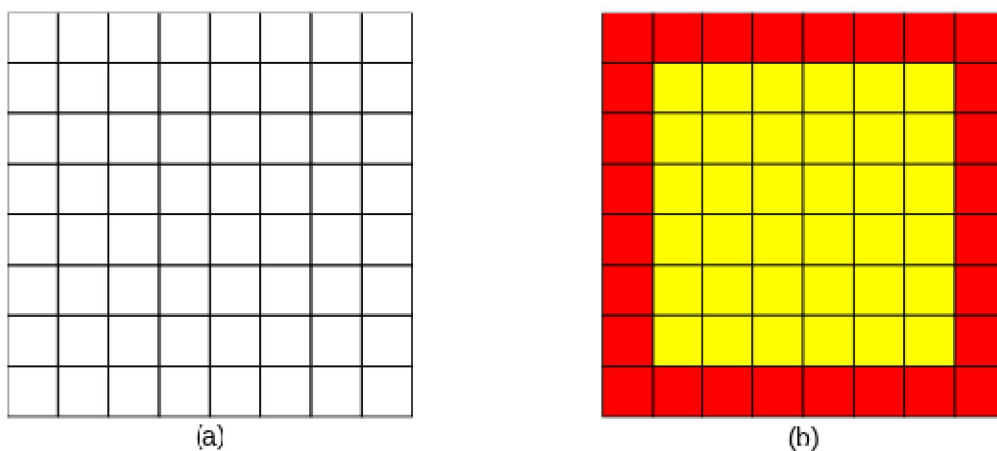


## DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

### Significado del borde (superficie) y su determinación en diversos objetos

Uno de los aspectos más importantes en los nano-sistemas es la determinación de la superficie de estos. Esto es necesario dado que muchas de las novedosas propiedades de estos sistemas dependen de la relación entre la superficie y su volumen. Por ello, en la primera parte de esta experiencia el docente debe introducir el concepto de borde y luego relacionarlo con el término más científico de superficie.

El desarrollo de la actividad se contempla como una secuencia de ejemplos, como se puede ver en el material complementario que se adjunta a esta ficha. El/la docente comienza esta parte de la actividad presentando diversos objetos (de diferentes formas) formados por la agrupación de cuadrados más pequeños, los cuales en un nano-sistema real pueden representar un átomo o molécula (véase la Figura 1a). Luego, se pide a los alumnos que identifiquen y pinten de un color determinado (se sugiere el color rojo) aquellos cuadrados pequeños que se encuentren en el borde del objeto. Los demás cuadrados se pintan de otro color que contraste con el primero (se sugiere el color amarillo), como se observa en la Figura 1b.



*Figura 1. (a) Imagen con un objeto formado de varios cuadrados pequeños (los cuales representarían átomos/moléculas en un sistema real) y (b) Imagen del mismo objeto donde se han identificado tanto los cuadrados que se encuentran en el borde (pintados de color rojo), como los cuadrados interiores (pintados de color amarillo).*

A los alumnos más avanzados se les puede indicar (para esta actividad) que un cuadrado interior es aquel que tiene cuatro cuadrados como vecinos más cercanos (a la misma distancia); mientras que un cuadrado en el borde (superficie) tiene menos vecinos más cercanos. Por ejemplo, los cuadrados de las esquinas tienen solo dos cuadrados vecinos más cercanos y por ello se consideran como cuadrados en el borde. Esta aclaración es importante en otros casos donde la identificación de un cuadrado en

el borde no es evidente (véase los ejemplos del material complementario que se adjunta a esta ficha).

### **Estimación de la importancia del borde en diversos objetos geométricos sencillos**

En esta parte de la actividad se pide a los alumnos que cuenten (para cada objeto) el número de cuadrados en el borde: como hemos propuesto pintarlos de rojo, llamamos a este número  $N_r$ . Igualmente contamos el número de cuadrados en el interior: como hemos propuesto pintarlos de amarillo, llamamos a este número  $N_a$ . De esta forma el número total de cuadrados que forman el objeto será  $N = N_r + N_a$ , véase la Figura 2a.

Para los alumnos más pequeños (8 a 10 años) se recomienda numerar cada cuadradito para ayudar a determinar los valores de  $N_r$  y  $N_a$ . Si no se hace esto, es muy fácil que los alumnos pierdan la cuenta cuando los objetos son de tamaños mayores. Como referencie mire como se ha propuesto esta actividad en el material complementario que se adjunta a esta ficha.

Los alumnos de grados superiores pueden realizar el cálculo del porcentaje de cuadrados en el borde con respecto al total de cuadrados; es decir  $\%R = 100 * \left(\frac{N_r}{N}\right) \%$ . Se debe realizar esto para cada objeto, luego se recomienda llenar una tabla con cada tamaño  $N$  del objeto y su correspondiente  $\%R$  (porcentaje de cuadrados rojos). Finalmente, se pide a los alumnos reflexionar sobre como varía este valor al reducir el tamaño del objeto.

### **Efectos del tamaño sobre el color**

En esta parte de la actividad el/la docente pide a los alumnos vaciar en una vasija vacía tantas gotas de tempera de color amarillo como cuadrados amarillos (cuadrados interiores) se tengan en un objeto determinado. En la misma vasija se introducen tantas gotas de temperas de color rojo como cuadrados rojos (cuadrados en el borde) se tengan en el objeto de estudio (véase la Figura 2b). Luego de mezclar estos colores en la vasija se pinta un círculo adyacente al objeto. Así queda indicada la tonalidad de mezcla que representa ese objeto: "propiedad de color del objeto" (véase la Figura 2c). Se debe repetir este procedimiento para cada objeto (de diferente tamaño) y reflexionar sobre los colores obtenidos en cada caso. Véase la estructura de esta actividad como es propuesta en el material complementario que se adjunta a esta ficha.

Los alumnos de grados superiores pueden construir una gráfica del porcentaje de cuadrados en el borde (rojos) con respecto al tamaño del objeto (número de cuadrados totales del objeto); es decir, de  $\%R$  versus  $N$  y determinar la forma en que

cambia dicho valor conforme se hace el objeto más pequeño. Así se le pide al alumno reflexionar cuán rápido puede cambiar la "propiedad de color" al disminuir el tamaño. Se recomienda usar un esquema como el propuesto en el material complementario que se adjunta a esta ficha, donde (además de  $%R$  y  $M$ ) se incluye el color que corresponde a cada tamaño.

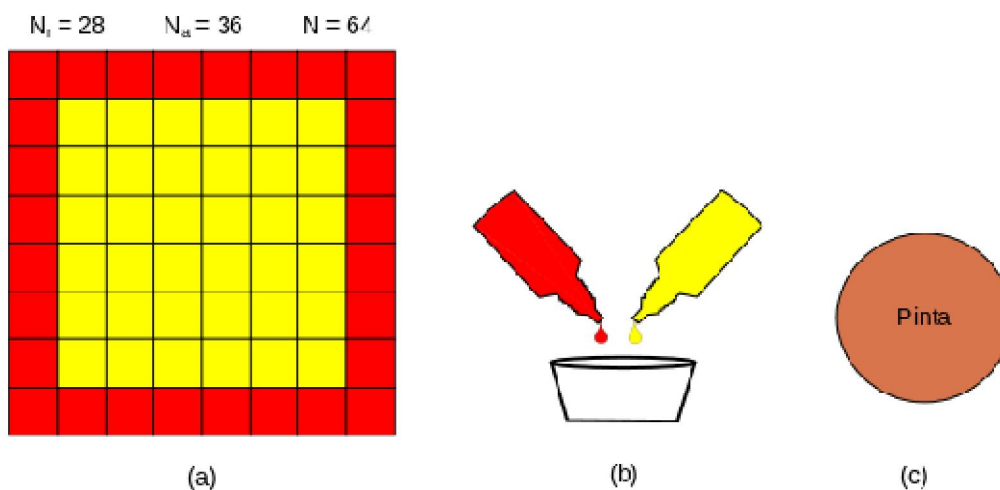


Figura 2. (a) Cálculo del número de cuadrados en el borde (rojos) y cuadrados interiores (amarillos). (b) Esas cantidades se usan para verter el mismo número de gotas de cada color en una vasija y mezclarlos: un cuadradito de un color representa una gota de tempera del mismo color. (c) Luego se pinta el círculo indicado con el color mezclado para identificar la "propiedad de color" del objeto.

### Consideraciones finales: la influencia entre el borde y el tamaño sobre las propiedades de los nano-sistemas

Para finalizar el/la docente planteará en clase una serie de cuestiones: ¿Por qué cambia el color que corresponde a un objeto determinado? ¿Está este cambio relacionado a su tamaño? ¿Por qué? ¿Qué tiene que ver el borde en dichos cambios de color? Con las respuestas y consiguiente debate los/as alumnos/as deben reflexionar sobre cuán dramático puede ser este efecto en sistemas muchos más pequeños como los nano-sistemas (recordarles la primera guía correspondiente a las escalas).

Para fomentar la discusión de estos temas, el/la docente debe recordar a los/las alumnos/as que un cuadradito puede representar un "átomo o molécula" del orden de 0.1-0.3 nm y que, por consiguiente, los objetos discutidos en esta guía pueden corresponder a sistemas de tamaño nanométricos. Además, de esta forma los/las alumnos/as pueden entender porque otras propiedades más complejas (eléctricas, mecánicas, magnéticas, entre otras) de los nano-sistemas cambian tan rápido con el tamaño y como esos cambios pueden afectar sus propiedades. Con ello, se espera que los/as alumnos/as puedan entender el funcionamiento de estos componentes básicos y como ello es fundamental para la nanotecnología porque de esta forma los

científicos pueden aplicar/manipular su tamaño para diseñar dispositivos para aplicaciones tecnológicas muy variadas.

## **PROPUESTA DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

### **Un ejercicio complementario.**

Los/as alumnos/as pueden repetir las actividades de la guía pero empleando otros tipos de formas geométricas, como triángulos, hexágonos, etc. construidas a partir de bloques básicos cuadrados (véase la figura 3). La idea es que repitan el procedimiento de determinar el número de cuadrados en el borde para diferentes tamaños de estos objetos diferentes y que analicen si el resultado es el mismo al que se obtuvo en la aplicación de la guía. El docente plantea las siguientes preguntas para reflexionar: además de saber que las propiedades dependen del tamaño (a través del número de cuadraditos en el borde), ¿dependen también estas propiedades de la forma de los objetos? ¿Objetos de similar tamaño pero de formas diferentes tienen similar o diferente tonalidad de color (diferente propiedad)? Reflexione sobre estos resultados y formule la posible explicación.

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

El desarrollo de esta actividad no conlleva riesgos.

## **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- N. Takeuchi y M. Romo, "El Pequeño e Increíble Nanomundo", Editorial Resistencia/Universidad Nacional Autónoma de México/Círculo Editorial Azteca. ISBN 978 607 7682 16 5, 2011.
- E. E. González, "La nueva era de los nanomateriales", Revista Nano Ciencia y Tecnología, Vol. 1, No. 1, p. 34-45 (2013). Accesible en [http://www.revistanano.org/index\\_htm\\_files/Revista%20nanoNo%201%20Gonzalez.pdf](http://www.revistanano.org/index_htm_files/Revista%20nanoNo%201%20Gonzalez.pdf)
- Efectos de cambio de color en nanopartículas debido a contactos ligeros (presión) que se realiza en ellas. Accesible en <http://pdm.com.co/pintura-con-nanoparticulas-de-oro-cambia-de-color-al-contacto/>

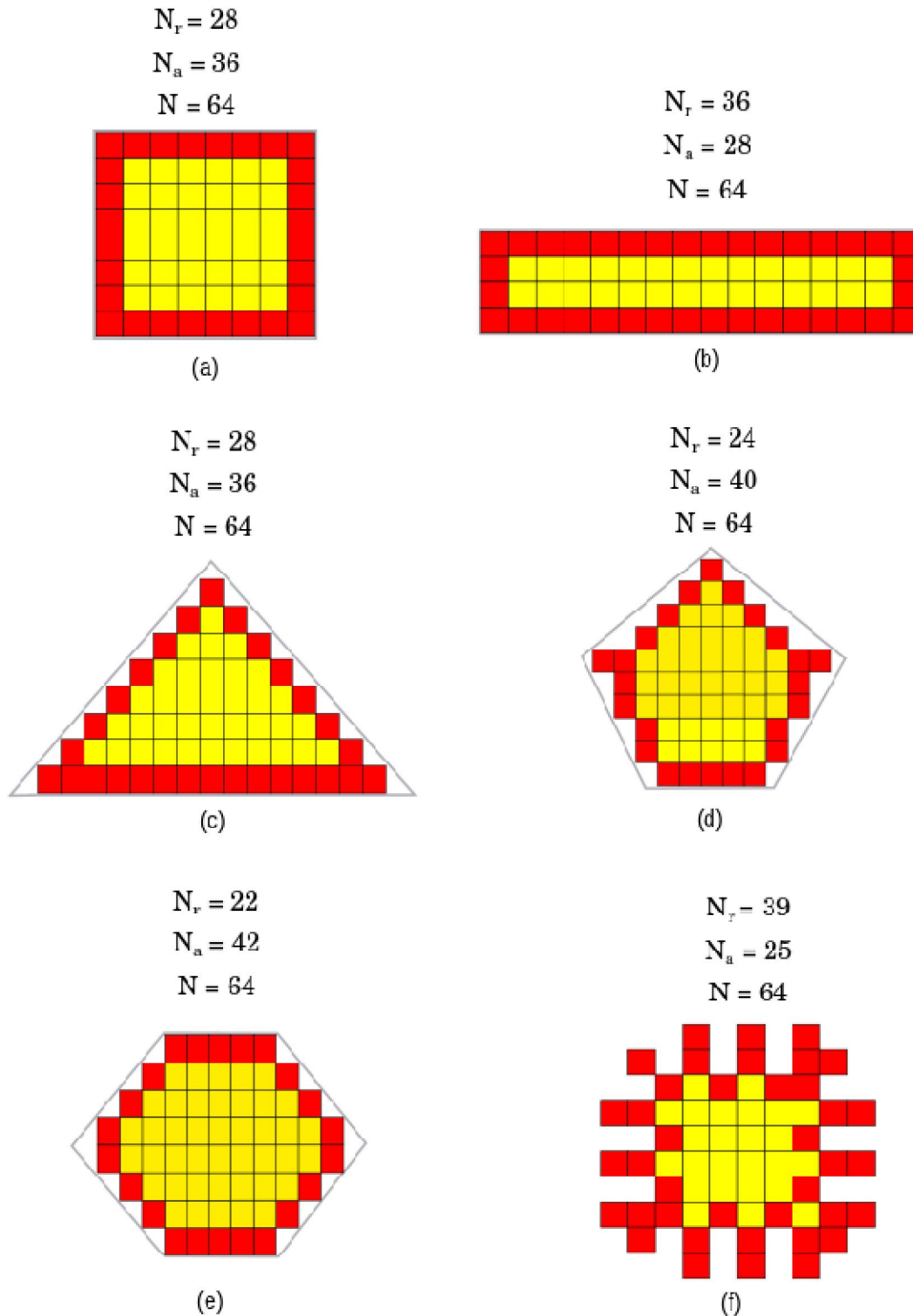


Figura 3. Se puede apreciar objetos de diferentes forma: (a) cuadrado, (b) rectángulo, (c) triángulo, (d) pentágono, (e) hexágono y (f) irregular. Estos objetos son obtenidos agrupando los mismos objetos básicos (cuadrados de igual dimensión y que pueden representar los átomos/moléculas en los sistemas reales). Se nota que debido a la forma global del objeto, el número de cuadrados en el borde (cuadrados rojos) varía y, por ello, se esperaría que la "propiedad de color" también cambie, a pesar que el número de cuadraditos totales es igual en todos los casos.

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Se proporciona un modelo de guía, aplicado a alumnos de 10 a 12 años, que puede ser usado de modelo para generar guías de trabajo para estudiantes de diferentes edades (con las modificaciones convenientes de acuerdo al nivel donde será aplicado). El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina "Anexos - Ficha Didáctica – I.3 – MC.doc".

# **NANOMATERIALES DE CARBONO**

M. Kierkowicz, M. Martincic, G. Tobias-Rossell\*

Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMAB)

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Campus de la Universidad Autónoma de Barcelona

08193 Bellaterra, Barcelona, España

\*Correo electrónico autor de contacto: [gerard.tobias@icmab.es](mailto:gerard.tobias@icmab.es)

## **FICHA I.4**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

En esta actividad el estudiante se familiarizará con los nanomateriales de carbono. Se empezará hablando de materiales que ellos conocen, como son el diamante y el grafito. A partir del grafito se presentará al grafeno, los nanotubos de carbono y los fullerenos. Se hará una parte práctica utilizando un juego de cartas (grafito), una piedra (diamante), una pelota de fútbol (fullereno) y papel en el que se imprimirá una red hexagonal (grafeno y nanotubos).

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- Valorar la riqueza que presenta la tabla periódica, al darse cuenta que con únicamente uno de los elementos presentes ya se pueden formar una gran variedad de materiales
- Los alumnos se darán cuenta de la relación que existe entre estructura y propiedades, al hablar del diamante y del grafito
- Familiarizarse con los nanomateriales de carbono
- Darse cuenta que quizás tienen nanomateriales en casa sin saberlo

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 14-18**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA REALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD: MEDIO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 55 minutos**

## **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Biología (Bachillerato)
- Matemáticas
- Tecnología

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Para que los alumnos se beneficien de esta actividad, es necesario que estén familiarizados con la nanoescala. Este punto se puede haber trabajado utilizando otras fichas que se incluyen en esta Guía Didáctica, tal y como se detalla en el siguiente apartado. Los alumnos deben estar familiarizados con el concepto de enlace químico entre átomos. Conocimiento de la Tabla Periódica no es imprescindible pero puede facilitar al profesor la presentación de este tipo de materiales.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Es necesario haber trabajado con anterioridad las Fichas I.2 y III.2. Es recomendable haber trabajado la ficha V.5.

## **MATERIALES**

- Una piedra
- Juego de cartas
- Pelota de fútbol
- Cinta adhesiva
- 2 hojas de papel con la impresión de la red hexagonal que se adjunta como material complementario
- PC con PowerPoint y proyector (no es imprescindible pero permitirá mostrar las diapositivas del material complementario)

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

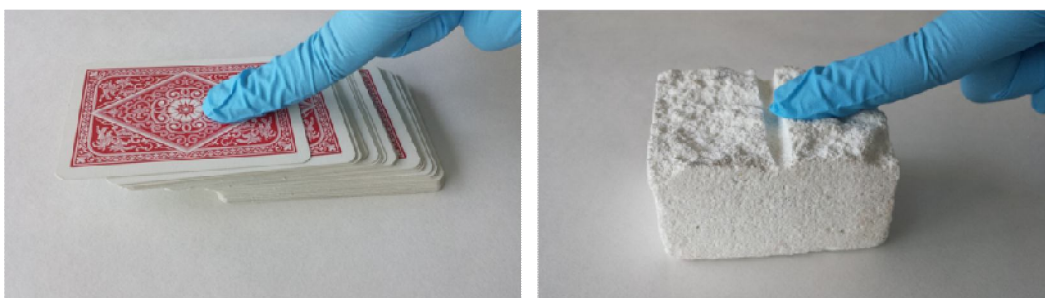
En esta actividad se pretende que los alumnos entiendan que existe una gran variedad de materiales que están compuestos únicamente por carbono y que relacionen los nanomateriales de carbono con aquellos que ellos ya conocen: el grafito y el diamante.



## **El grafito y el diamante. Relación estructura y propiedades.**

La actividad empezará preguntando a los alumnos qué materiales compuestos únicamente de carbono conocen. Para empezar la discusión se puede hacer referencia a la Tabla Periódica e indicarles dónde se encuentra el carbono. Posiblemente los estudiantes harán referencia a materiales que contengan carbono como elemento constituyente junto con otros elementos como pueden ser el oxígeno, el hidrógeno, etc. Este es un buen momento para comentar que hay una gran variedad de compuestos que contienen carbono pero que estamos interesados en los que únicamente contengan carbono que son el diamante y el grafito. Al hacer referencia al grafito es recomendable comentar que se encuentra en las minas de los lápices. En este punto se les debe hacer reflexionar porque si tanto el diamante con el grafito están compuestos únicamente de carbono, su aspecto, propiedades y precio son tan diferentes. La razón reside en cómo se unen los átomos de carbono entre sí. En este punto se cogerá el juego de cartas, para ilustrar la estructura laminar del grafito, en el que los átomos de carbono se enlazan dentro de planos, y se mostrará una piedra para ilustrar que en el caso del diamante los átomos de carbono forman una estructura tridimensional.

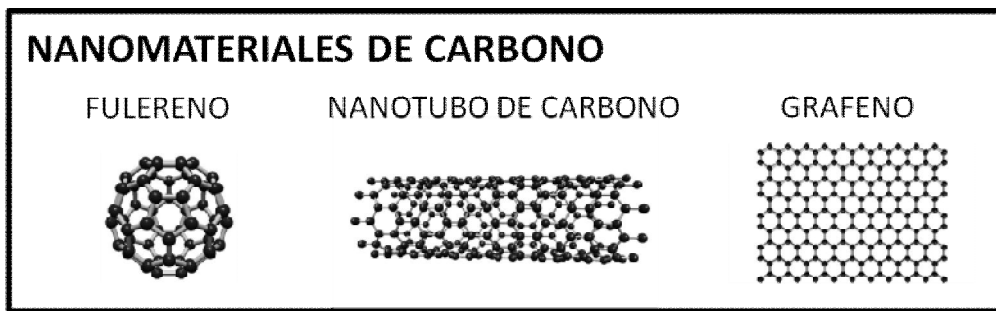
A continuación se ilustrará cómo esta organización de los átomos de carbono afecta a las propiedades del grafito y el diamante. Para ello ejerceremos una pequeña presión sobre el juego de cartas de forma que se vea que las capas que forman el grafito se van separando, mientras que en el caso de la piedra se desplaza todo el bloque (Figura 1).



*Figura 1. Modelos de grafito (juego de cartas) y diamante (piedra) que permiten ilustrar la relación estructura-propiedades.*

## **Los nanomateriales de carbono.**

Para introducir a los nanomateriales de carbono, es necesario que los alumnos estén familiarizados con el concepto de la nanoescala. Se presentarán al grafeno, los nanotubos de carbono y los fullerenos (Figura 2).



*Figura 2. Nanomateriales de carbono.*

Para empezar nos centraremos en el grafito, y les diremos que una de las capas que lo constituyen es el grafeno, y les mostraremos una sola carta. En este punto se coge el papel en el que se ha impreso la red hexagonal (incluida como material complementario) y se les indica que es la estructura que presenta el grafeno. Enrollamos la hoja de papel y ya tenemos al nanotubo de carbono. Según como se enrolle la hoja formaremos nanotubos con distintas quiralidades, que a su vez confieren distintas propiedades a los nanotubos (ver imagen en material complementario). Si se quiere hacer un paso más se puede comentar que existen distintos tipos de nanotubos de carbono dependiendo del número de capas que tengan. De forma que tendríamos nanotubos monocapa (con una sola capa de grafeno enrollada) y nanotubos multicapa (varias capas de grafeno). En el caso de los nanotubos multicapa las capas de grafeno enrolladas se van colocando una dentro de la otra como una muñeca rusa. Se pueden tener dos hojas de papel con la red hexagonal impresa, enrollarlas de forma que queden de distinto diámetro y ilustrar como se pone uno dentro de la otra.

Para terminar con los nanomateriales de carbono se comentará que existen también nanopelotas de carbono que son los fullerenos. La estructura del fullereno es la misma que presenta una pelota de fútbol (cosido tradicional) por lo que puede ser útil tener una para mostrar la estructura de hexágonos y pentágonos que presenta.

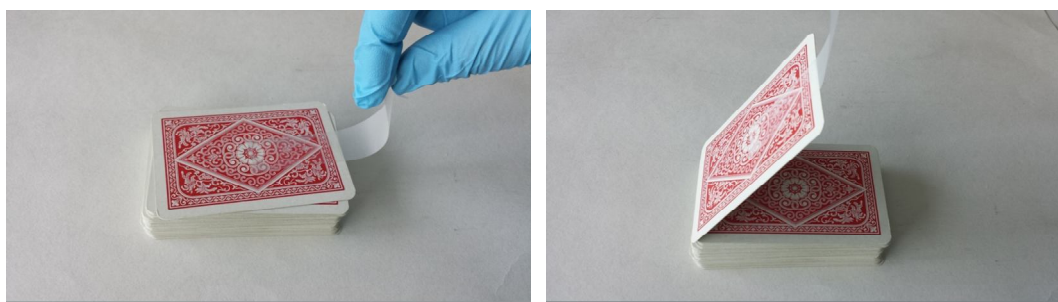
El profesor tiene que tener presente que en realidad existen otro tipo de nanomateriales de carbono, con variedad de formas, como son las nanocéjollas, nanocuernos, nanoanillos, etc. Este tipo de materiales se pueden trabajar como actividad a desarrollar por los alumnos en casa. Se adjunta una imagen en el material complementario que amplía la familia de nanomateriales de carbono.

### **Aislamiento de una capa de grafeno.**

Para que los estudiantes se den cuenta de la importancia que están adquiriendo los nanomateriales de carbono a nivel científico y en el fondo en nuestra sociedad, vale la pena mencionar que los descubridores de los fullerenos recibieron el Premio Nobel de

Química en 1996 (H. Kroto, R. Curl, R. Smalley) y en 2010 se concedió el Premio Nobel de Física por los estudios realizados sobre grafeno (A. Geim, K. Novoselov).

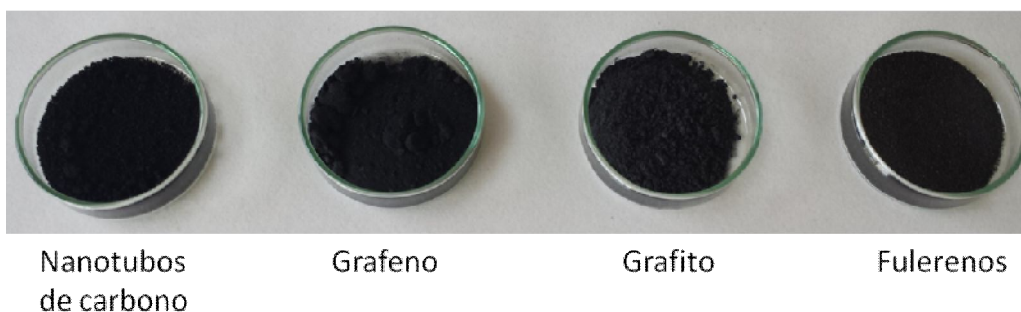
Esto permite comentar la tecnología que emplearon Geim y Novoselov para aislar una capa de grafeno, que fue mediante la exfoliación del grafito con cinta adhesiva. Para ello cogeremos el juego de cartas, que nos representa al grafito, y con cinta adhesiva levantaremos una de las cartas (grafeno) como se ilustra en la Figura 3. El profesor debe saber que en realidad es necesario repetir este proceso de forma repetida para llegar a tener monocapas de grafeno.



*Figura 3. Proceso de exfoliación del grafito (juego de cartas) a grafeno (una de las cartas).*

### **¿Qué aspecto tienen los nanomateriales de carbono?**

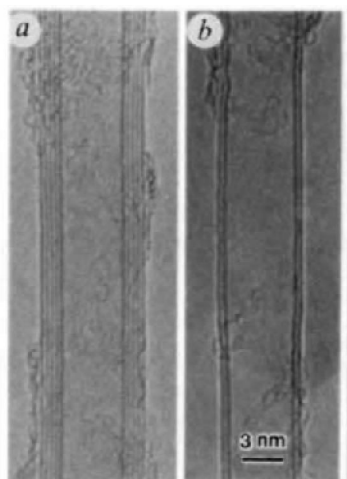
Una de las curiosidades que suelen tener los estudiantes al hablarles de nanomateriales, es el aspecto que tienen. En la Figura 4 se presenta una fotografía de distintos nanomateriales de carbono (nanotubos, grafeno, fullerenos) junto al grafito, que se mostrará a los alumnos. A esta escala no se aprecia la diferencia entre los distintos materiales, por lo que es imposible distinguir a simple vista si lo que tenemos delante se trata de un nanomaterial o no. Incluso si aumentamos y miramos la microestructura (se adjuntan imágenes en el material complementario) sigue siendo imposible “ver” a los nanomateriales.



*Figura 4. Nanomateriales de carbono y grafito.*

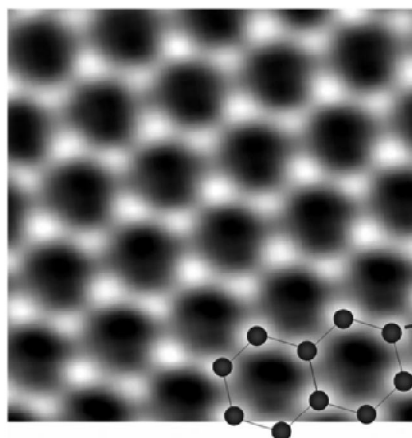
Para poder “ver” a los nanomateriales es necesario utilizar microscopios electrónicos o de punta (Figura 5). Se puede trabajar el tema de las microscopías a través de la Ficha III.2. Este apartado es útil para que los estudiantes se den cuenta que quizás tienen nanomateriales en casa sin saberlo.

#### NANOTUBOS DE CARBONO



Nature 56, 354, 1991

#### GRAFENO



Chem. Commun. 6095, 2009

Figura 5. Imagen de microscopía electrónica de transmisión de nanotubos de carbono y grafeno.

### PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD

Ahora que los estudiantes son conscientes que tanto los nanotubos de carbono como el grafeno presentan un patrón hexagonal, se les puede pedir que encuentren este patrón en productos y materiales de la vida cotidiana. La red hexagonal se encuentra por ejemplo en un panel de abejas, alambres para gallineros, redes de potencia de fútbol, e incluso en algunos adoquines, botellas de perfume, etc. Otra actividad que se les puede proponer es encontrar otros tipos de nanomateriales de carbono a parte de los trabajados en esta ficha (se adjunta imagen en el material complementario).

### PRECAUCIONES Y SEGURIDAD

El desarrollo de esta actividad no conlleva riesgos.

## REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN

- F. Díaz del Castillo-Rodríguez, "Introducción a los Nanomateriales", Lecturas de Ingeniería 20, 2012. Capítulo 2. Accesible en [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m6/Introduccion%20a%20los%20nanomateriales.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/Introduccion%20a%20los%20nanomateriales.pdf)
- G. Tobías-Rossell, "Grafeno: un mar de nuevas posibilidades", Moldes y Matrices, 2013. Accesible en [http://www.moldesymatrices.com/GRAFENO-nuevo\\_material\\_de\\_alta\\_tecnologia.html](http://www.moldesymatrices.com/GRAFENO-nuevo_material_de_alta_tecnologia.html)

## MATERIALES COMPLEMENTARIOS

Se proporciona un material complementario consistente en un conjunto de diapositivas que permitirán al profesor desarrollar las actividades propuestas. El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina "Anexos - Ficha Didáctica – I.4 – MC.ppt".



# LA NANOESCALA EN LOS SERES VIVOS

R. Vázquez-Muñoz<sup>(1)</sup>, N. Takeuchi<sup>(2,\*)</sup>

(1) Departamento de Bionanotecnología, Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, México.

(2) Departamento de Nanoestructuras, Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, México.

\*Correo electrónico autor de contacto: takeuchi@cnyun.unam.mx

## FICHA I.5

### RESUMEN DE LA ACTIVIDAD

Los conceptos de escala y forma son fundamentales en la nanotecnología. Por medio de distintas actividades se busca que los estudiantes perciban qué es la escala nanométrica y las diferencias en la materia en distintos órdenes de magnitud. Asimismo, se busca que los estudiantes comprendan cómo la forma de las nanoestructuras (artificiales y biológicas) les proporcionan propiedades únicas. Finalmente, se explora la importancia del tamaño y sus efectos en el contexto del nanomundo. Las actividades han sido adaptadas del libro "Nanoscale Science, Activities for Grades 6-12" (ver sección de Referencias).

### OBJETIVOS DIDÁCTICOS

- Entender el concepto de escala
- Visualizar el concepto de mil millones ( $10^9$ ) y milmillonésima ( $10^{-9}$ )
- Comparar las estructuras y propiedades de los nanomateriales y las nanomáquinas biológicas
- Entender la relación forma y tamaño de las nanoestructuras biológicas con sus propiedades

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 12-16**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA REALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD: MEDIO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 3 horas**

(60 minutos por cada una de las tres actividades planteadas).

## **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la naturaleza (Ed. Secundaria)
- Biología (Bachillerato)
- Matemáticas
- Educación artística

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los estudiantes deben de conocer los conceptos de átomo, átomo de carbono, biomoléculas, proteínas, células, tejidos, y anatomía. Además, deberán de poseer nociones matemáticas sobre los órdenes de magnitud y la notación científica.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Fichas Didácticas I.1 y I.2

## **MATERIALES**

### **Actividad 1:**

- 1 balanza
- 1 taza con tres cucharadas de azúcar
- 2 reglas: una de 30 cm y otra de 1 metro.
- 1 pelota de golf
- Hojas blancas
- Cronometro
- Pinzas
- Calculadora
- Material complementario: Hoja de estudiante 1, y el texto "Nanotecnología: mil millones de computadoras en una gota de agua".

### **Actividad 2:**

- Cartulina
- 10 metros de estambre
- Cinta adhesiva
- Cartulina



- Pegamento blanco.
- Material complementario: Copias del “Molde o plantilla de las cápsides virales” y del “Molde o plantilla para crear un buckyball”
- Opcional: 1 lápiz; 3 limpiapipas.

### Actividad 3:

- Arena u otro material similar (que no éste húmedo)
- Tijeras
- Pegamento
- Material complementario: Copias de “El volumen, las células y los nanomateriales”.
- Barras de plastilina (opcional)

## DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES

### Actividad 1: La Nano-escala

Trasfondo: Aunque la cantidad de “mil millones” (1, 000, 000, 000) se aprende desde la primaria y no es raro escuchar cifras de tal magnitud en la vida diaria (noticias, temas de ciencia, economía, etc.) no siempre se tiene en claro su magnitud. En un metro hay mil millones de nanómetros o, dicho de otra forma, un nanómetro es la milmillonésima parte de un metro.

- 1) Mostrar a los estudiantes un galón de agua con sal y preguntarles: “¿cuántos granos de sal están en el galón?” Pedirles que escriban su respuesta y escribir algunas de las respuestas en el pizarrón. Involucrarlos en la dinámica de comparar las diferentes cifras.
- 2) Formar quipos de cuatro o cinco personas. Mostrarles una pelota de golf y pedirles que infieran qué tan grande tendría que ser un recipiente cúbico para poner contener mil millones de pelotas de golf. La respuesta es un cubo de 50 m<sup>3</sup>, equivalente aproximadamente a 416 salones de clase (10x10x3 m). Explicar que una pelota de golf equivale a la milmillonésima parte de ese gran cubo.
- 3) Retomar el recipiente con sal y preguntarle a los alumnos cuántos granos de sal hay en una pizca (~1000 granos) y cuántos granos de sal hay en la taza (~1,000,000). Explicar que aproximadamente 15 tazas equivalen a 1 galón y pedir que calculen cuántos granos hay en un galón.
- 4) Preguntar qué tan grande tendría que ser un recipiente para contener  $1 \times 10^9$  granos de sal (el recipiente tendría que ser del tamaño de un tinaco de 1000 L, o de 1 m<sup>3</sup>). Pedirles que imaginen un tinaco llena de sal y que piensen qué fracción del tinaco ocupa un solo grano de sal. Explicar qué es un nanómetro.

Terminar la actividad presentando imágenes de estructuras representativas de diferentes escalas de magnitud (figura 1). En el material complementario se muestran ejemplos de estructuras representativas de las diferentes escalas de tamaño.

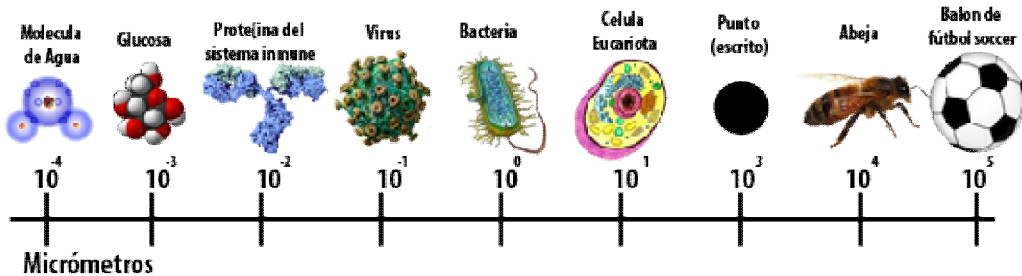


Figura 1. Escala comparativa del tamaño de diferentes objetos.

## Actividad 2: Nano-formas: La geometría de lo pequeño.

Trasfondo: Los átomos de carbono tienen propiedades químicas únicas y forman entre sí los enlaces más fuertes en la naturaleza. Puede usar sus cuatro enlaces de diferente forma, para formar cadenas, anillos o redes, lo que permite que se formen miles de estructuras complejas, uni-, bi- o tridimensionales. Por tal motivo es el esqueleto estructural de los ácidos nucleicos, proteínas, carbohidratos y lípidos.

El carbono puede tener diferentes formas (alotropía) y recientemente se han descubierto formas que han despertado el interés de la ciencia, como las “buckyballs” o “fullerenos” (en 1985) y los nanotubos de carbono (1991). Las buckyballs fueron descubiertas por Smalley, Kroto y Curl. Tienen 60 carbonos, distribuidos en 20 hexágonos y 12 pentágonos, como un balón de fútbol. Los nanotubos de carbono fueron descubiertos en Japón por Sumio Iijima. Tienen propiedades únicas, por lo que son un nanomaterial prometedor en muchas áreas, como en la computación y en la medicina. Hay diferentes tipos de nanotubos de carbono, según sus patrones geométricos.

Por otro lado, los virus son nanomáquinas naturales, y se componen principalmente de una cubierta de proteínas que protege al material genético. Su estructura ha evolucionado para permitirles entrar al cuerpo, reconocer e infectar células específicas y auto-replicarse, usando la maquinaria celular. Los virus son muy interesantes, tanto por sus funciones biológicas, como por su arquitectura y su comportamiento de auto-ensamble o autoensamblado.

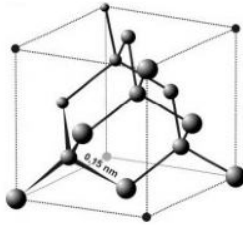
Típicamente, los virus miden de 20 a 250 nm. Si los comparamos con las bacterias, que miden entre 1 y 3 micrómetros, los virus son en promedio 10 veces más pequeños. Una característica interesante de algunos tipos de virus, es su forma geométrica. Hay virus con forma helicoidal, de esféricos (icosaedro), etc. La parte infecciosa de los virus son los ácidos nucleicos que contiene (ADN o ARN). La cápside, que es una cubierta de proteínas, sirve para proteger al virus y le permite que reconozca a la célula que va a atacar. Debido a sus características, los virus tienen muchas aplicaciones potenciales, particularmente en la medicina.

- 1) Preguntar a los estudiantes si saben lo que es el carbono y si pueden nombrar a algunas estructuras hechas de éste elemento y que estructuras forma el carbono en esos objetos (grafito, diamantes, carbón, carbón activado, en el smog, en el dióxido de carbono, etc.). Explicar las características del carbono y su alotropía (figura 2).
- 2) Usar un balón de fútbol como ejemplo de un *buckyball* (figura 3). Pedirle a los estudiantes que observen la distribución de los hexágonos y pentágonos, y que cuenten el número de vértices. Impulsar a los alumnos a que busquen formas similares en diferentes objetos.
- 3) Construir un fullereno. Recortar el molde de una *buckyball* que aparece en el material complementario. Pegarlo en una cartulina (opcional) y armarlo, uniendo los bordes con pegamento. Orientarlos para que construyan sus propios fullerenos, con diferentes materiales.
- 4) Preguntar a los alumnos si saben qué son las enfermedades virales y pedirles que den algunos ejemplos (es posible que mencionen enfermedades de origen bacteriano u por otros microorganismos, aclarar que son diferentes tipos).
- 5) Describir a los virus y sus características, particularmente en las diferencias en sus estructuras (figura 4). Mostrarles micrografías de diferentes tipos de virus ([www.virology.net/big\\_virology/BVHomepage.html](http://www.virology.net/big_virology/BVHomepage.html)).
- 6) Explicarle a los estudiantes que van a crear una nanomáquina biológica: un virus icosaédrico. Esta forma es muy común en los virus, tales como el de la poliovirus, adenovirus, los de la hepatitis, etc.
- 7) Construir al virus: Recortar el molde del virus icosaédrico, que parece en el material complementario. Pegar el molde en una cartulina (opcional). Doblar el molde sobre las líneas y unir los extremos con cinta adhesiva, dejando un lado abierto. Cortar 10 metros de estambre para que represente el material genético que entra al virus. Cerrar el virus completamente. OPCIONAL: se puede pegar un lápiz a la base del icosaedro y ponerle "patas" al virus. Este modelo representa a un tipo de virus llamado bacteriófago.
- 8) Invitar a los estudiantes a que estudien más sobre los virus, sus diferentes formas y estructuras.

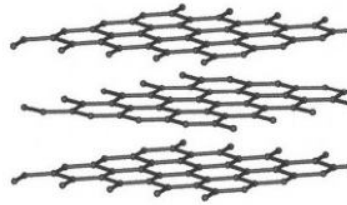
**Nanotubo**



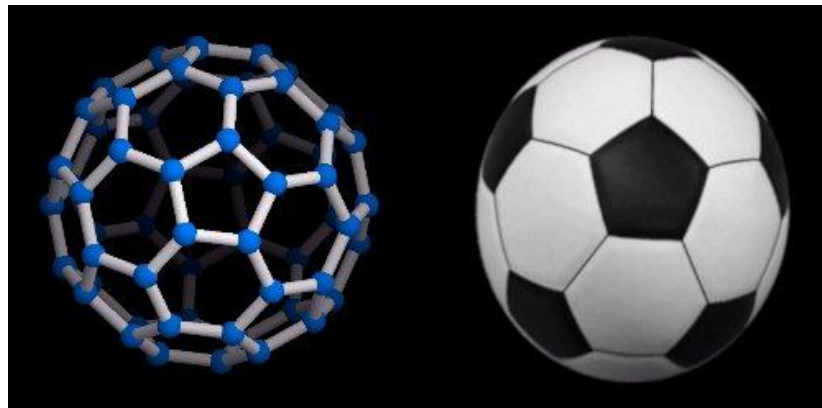
**Diamante**



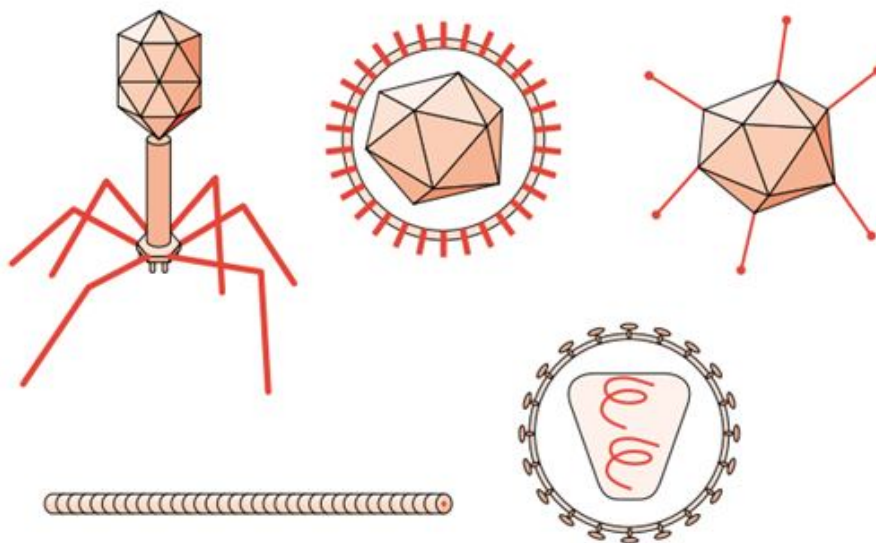
**Grafito**



*Figura 2. Ejemplo de estructuras alotrópicas del carbono*



*Figura 3. Comparación entre una molécula de fullereno  $C_{60}$  (buckyball) y un balón de fútbol*



*Figura 4. Virus simétricos*

### **Actividad 3: El volumen, las células y las nanoestructuras.**

Trasfondo: La forma y el tamaño de las células dependen de su tipo y de las funciones que ésta realiza. La mayoría de las células son microscópicas, y una pregunta común es por qué no vemos células gigantes a nuestro alrededor, es decir ¿Qué limita el tamaño de una célula? La respuesta la encontramos cuando tomamos en cuenta todo lo que una célula tiene que hacer para mantenerse, desarrollarse y reproducirse.

La célula debe obtener y desechar sustancias por medio de su membrana celular, que le sirve de frontera con el medio externo. Un tamaño pequeño ayuda a que las moléculas puedan difundirse más rápido. Además, hay una relación entre el volumen y la superficie celular, esta relación es crítica para determinar el tamaño de la célula.

Cuando una célula aumenta de tamaño, el volumen ( $V$ ) aumenta en mayor proporción que la superficie ( $S$ ). Si ponemos de ejemplo un cubo, el volumen lo representamos como  $V=L^3$  mientras que su área superficial superficie  $S=6L^2$ . Esta diferencia en la proporción  $S/V$  cuando cambia el tamaño de la célula es un gran limitante para que la célula crezca (figura 5).

Esta diferencia entre la relación  $S/V$  también pasa con los nanomateriales, por lo que el tamaño es un factor muy importante en la nanotecnología. En muchas estructuras, sus propiedades dependen de su área superficial, por lo que es común ver nanomateriales muy pequeños, o con muchos poros, para aumentar la relación superficie volumen.

- 1) Preguntar a los alumnos por el volumen y el área superficial de figuras geométricas de diferentes tamaños, en el pizarrón.
- 2) Comparar la proporción de superficie/volumen de algunos objetos comunes (borrador, lápiz, cuaderno, etc.) y discutir si la forma afecta la proporción superficie/volumen.
- 3) Comparar las diferentes formas y tamaños de las células de diferentes tipos (bacteriana, animal, vegetal, fúngica, etc.) y contrastar sus características con la relación superficie/volumen.
- 4) Observar imágenes de nanoestructuras de diferentes tipos (zeolitas, nanoalambres, nanopartículas, nanotubos, nanolaminas, etc) y comparar sus formas y tamaños con la relación superficie/volumen.
- 5) Hacer cubos en papel cartulina:

- 6) Recortar los moldes de los cubos (material suplementario) y pegarlos en cartulina. Armar los cubos, pegando sus extremos con las caras correspondientes.
- 7) Llenar los cubos de 1, 2 y 3 cm con arena. Comparar el área superficial con la cantidad de arena que requirió cada cubo (volumen).
- 8) Hacer una demostración de cómo las células trabajan mejor cuando están en un tejido o en organismo multicelular. Usar 16 cubos de 1 cm, 8 de 2 cm y 1 de 4 cm, todos ocupan el mismo volumen de arena, pero cambia su volumen. ¿Cómo influye eso en los seres vivos?, ese mismo efecto, ¿Será importante en los nanomateriales que se forman con muchas nanoestructuras más pequeños (nanotubos de carbono de múltiples capas –multipared-, cúmulos de nanopartículas, fibras de nanoalambres, etc)? Discutirlo en clase.
- 9) OPCIONAL: Hacer geométricas con la barra de platina y medir su área superficial. Cambiar la forma de las figuras (de una pirámide a una lámina, por ejemplo) y medir la nueva área superficial. Repartirlo varias veces y comparar los cambios en el área superficial

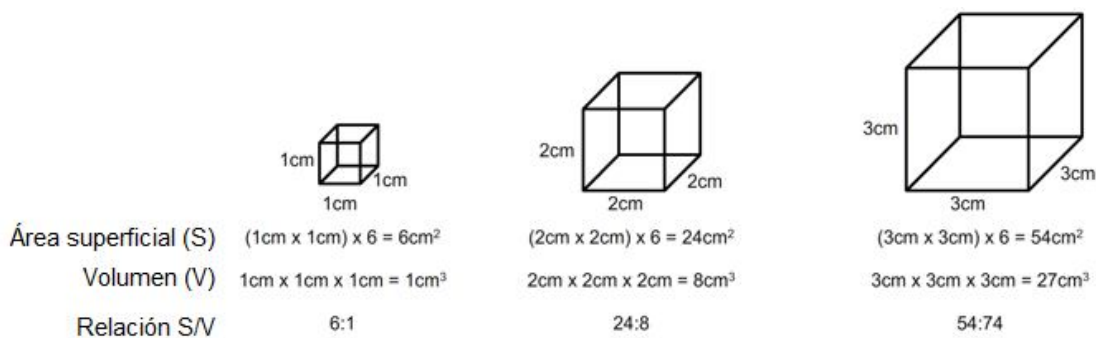


Figura 5. Relación superficie:volumen en cubos de distinto tamaño

## PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD

### Actividad 2:

Los alumnos pueden investigar las siguientes interrogantes, tanto en equipo como de forma individual (y exponerlo en clase):

- a) ¿Cuáles son las propiedades de los nanotubos?
- b) ¿Qué aplicaciones se les dan a los nanotubos de carbono y los fullerenos?
- c) ¿Qué aspecto geométrico del nanotubo contribuye a que tenga sus propiedades únicas?
- d) ¿Por qué los virus no están vivos?

- e) ¿Cuál es el proceso general que sigue un virus para infectar a una célula?
- f) ¿Cómo se ensamblan los virus?
- g) ¿En la nanotecnología, cuáles son algunas aplicaciones potenciales de los virus?

### **Actividad 3:**

Los alumnos pueden investigar las siguientes interrogantes, tanto en equipo como de forma individual (y exponerlo en clase):

- a) ¿Cuáles son las diferencias generales entre los organismos unicelulares y multicelulares?
- b) ¿Cuáles son las estructuras, y tamaños, típicos de los nanomateriales más comunes?

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

Manejar las herramientas (pinzas, tijeras, etc.) y las sustancias (pegamento) con las precauciones propias de cada uno.

## **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- Nanoscale Science, Activities for Grades 6-12, M. Gail Jones, M. R. Falvo, A. R. Taylor y B. P. Broadwell, National Science Teacher Association.
- Diversidad microbiana y taxonomía:  
[http://www.diversidadmicrobiana.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=573&Itemid=579](http://www.diversidadmicrobiana.com/index.php?option=com_content&view=article&id=573&Itemid=579)
- The big picture book of viruses (en inglés)  
[http://www.virology.net/big\\_virology/BVHomepage.html](http://www.virology.net/big_virology/BVHomepage.html)
- La nueva era de los nanomateriales. Revista Nano Ciencia y Tecnología  
[http://www.revistanano.org/index\\_htm\\_files/Revista%20nanoNo%201%20Gonzalez.pdf](http://www.revistanano.org/index_htm_files/Revista%20nanoNo%201%20Gonzalez.pdf)
- Nanomateriales.  
[http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/opinions\\_layman/nanomaterials/es/index.htm#i11](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/nanomaterials/es/index.htm#i11)

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Los Materiales Complementarios asociados a esta ficha se encuentran en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina "Anexos - Ficha Didáctica – I.5 – MC.ppt".





# **SUPERFICIES SUPERHIDROFÓBICAS: EFECTO LOTO**

A. Rivera-Álvarez <sup>(1)\*</sup>, J.R. Vega- Baudrit <sup>(1,2)</sup>

(1) Laboratorio Nacional de Nanotecnología, Centro Nacional de Alta Tecnología, Edificio "Dr. Franklin Chang Díaz", Pavas, San José, Costa Rica

(2) Laboratorio de Polímeros, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional, Campus Omar Dengo, Heredia, Costa Rica

\*Correo electrónico autor de contacto: [adriveraa@gmail.com](mailto:adriveraa@gmail.com)

## **FICHA I.6**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

Se busca mostrar al estudiante una ligera pincelada de efecto loto en la naturaleza. El objetivo principal es mostrar como varía la capacidad hidrofóbica de las hojas de los árboles y, a través de este experimento, explicar que son las superficies hidrofóbicas y cuál es su mecanismo de acción. El experimento consiste en observar el comportamiento de una gota de agua en las diferentes hojas de las plantas. Los estudiantes deberán ir al patio o zona exterior recolectar hojas de diferentes árboles y plantas, agregar una gota de agua a estas hojas y medir su diámetro en la hoja. Posteriormente se le adiciona tierra o sólidos finos a las hojas y se vuelve a realizar el experimento.

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- Familiarizar al estudiante con el concepto de efecto loto y superficies hidrofóbicas.
- Comprender la aplicabilidad de estas superficies en usos comerciales.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 12-16**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: BAJO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 1 hora**

## **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Matemáticas
- Tecnología

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deben estar familiarizados con los conceptos de superficies, con la diferencia de materiales aceitosos y no aceitosos, para comprender como cambia la superficie entre una hoja de árbol y una hoja de cuaderno común.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Sería recomendable haber realizado otras fichas del Bloque I (I.1, I.2, y I.5).

## **MATERIALES**

- Hojas de plantas y árboles recolectadas por los estudiantes. Cantidad: 3-4 hojas.
- Un pedazo de hoja de cuaderno.
- Un gotero por estudiante o grupo de trabajo.
- Un vaso con agua.
- Regla milimétrica.
- Un poco de tierra fina recolectada por los estudiantes. También sería recomendable tener harina de trigo o de maíz.
- Algún objeto donde se pueda poner la tierra fina. Ejemplo: pedazo de papel, vaso, tapa de botella, objeto capilar, entre otros.
- Toallas de papel para secar el agua utilizada.
- Hojas para realizar anotaciones (ver Materiales Complementarios).

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

### **Explicación previa (5 – 10min)**

Esta explicación busca ser una guía para los estudiantes durante el experimento, no lleva terminologías ni conceptos, estos serán dados al final de la experiencia. Se busca que el estudiante observe lo que a va suceder en las hojas: ¿Qué tamaño tiene la gota de agua?, ¿Qué tan esférica es?, ¿Qué pasa cuando se le agrega tierra a las hojas?

Para esto se debe hacer una pequeña reflexión sobre la importancia de la observación en las ciencias, cualitativas y cuantitativas; luego de la observación plantear preguntas sobre lo observado y por último, anotar posibles respuestas a estas preguntas. Luego de esta reflexión se le indicara al estudiante seguir este método para desarrollar su experimento.

Explicación preliminar: Se agregara una gota de agua a cada hoja y se anotan observaciones sobre ¿Qué sucede a la gota en las distintas hojas? Posteriormente se agregará tierra a la hoja y se repetirá el experimento.

### **Preparación de ambiente para el experimento: (5 – 10 min)**

Utilizar un espacio libre de materiales externos a los requeridos en la experiencia. Por seguridad y por comodidad a la hora de trabajar. Se debe revisar la lista de materiales y comprobar tener todo lo necesario.

Los estudiantes recolectaran hojas de distintas plantas que estén cerca de donde ellos se encuentren. También recolectarán una pequeña cantidad de sólidos finos, o tierra, en un pedazo de papel o algún reservorio. En caso de no tener hojas y tierra cerca, el docente los facilitará. Sin embargo, es parte de la experiencia que ellos se responsabilicen de ese trabajo, ya que es parte de la búsqueda y la observación que se desea despertar en los estudiantes.

A cada alumno se le facilitarán las hojas 1 y 2 que aparecen en los Materiales Complementarios donde debe plasmar sus observaciones, cuestionamientos y respuestas, realizadas durante el experimento.

### **Experimento (10 – 15 min)**

- 1) El estudiante debe leer la hoja de trabajo con antelación y revisar la lista de materiales necesarios para el experimento. En caso de faltar algún material preguntar al profesor para que se lo facilite.
- 2) Salir a buscar las hojas de las plantas y la tierra fina.
- 3) Numerar y describir alguna característica resaltante de cada hoja. Se puede dibujar la forma de la hoja, poner sus características físicas: color, grosor, textura, entre otras.
- 4) Agregar una gota de agua con el gotero a cada hoja (incluyendo la hoja de cuaderno) y anotar las observaciones: forma de la gota, su tamaño, su forma (si es esférica o aplanada), comparación entre la forma de las gotas de agua en distintas hojas.

- 5) Se limpia la hoja con la toalla de papel y se agrega tierra (o harina) a las hojas, se esparce con el dedo o moviendo la hoja, sin aplastar la hoja. Con un leve soplido se eliminan granos gruesos intentando dejar una fina capa de material sobre la superficie.
- 6) Se le agrega la gota de agua y se vuelven a tomar anotaciones sobre lo que sucede con las gotas de agua en las hojas.

### **Anotar observaciones de la actividad (5 – 10 min)**

Las observaciones se pueden ir anotando durante el experimento o finalizado éste. El estudiante escribirá, en las hojas facilitadas, las observaciones, los cuestionamientos basados en estas observaciones y sus respuestas o conclusiones sobre estos.

### **Preguntas que deben proponerse a los alumnos (5-10 min)**

Se reparte la hoja 3 del material complementario.

Esta fase de la experiencia es similar a la anterior, con la salvedad de que ahora estamos guiando al estudiante para obtener una respuesta concreta. En el paso anterior, él tenía la libertad de escribir lo que considerara importante y necesario, ahora sus respuestas van a ser guiadas.

### Preguntas

- 1) ¿Qué características podría mencionar de las hojas que utilizó en el experimento, incluyendo la hoja de cuaderno?

Aquí se espera que los estudiantes den una descripción de las hojas, formas, texturas. Algunos se adelantarán y dirán cuáles formaron gotas más grandes o cuáles no formaron gotas.

- 2) ¿En qué hojas se formaron gotas? Explique las diferencias entre unas gotas y otras.

Esto va a depender del tipo de hoja, cuanto más hidrofóbica sea la hoja más esférica va a ser la gota. En general, la mayoría de hojas de las plantas son hidrofóbicas, sin embargo, algunas son más hidrofóbicas que otras.

- 3) ¿Por qué cree usted que las gotas se mantuvieron formadas en estas hojas?

Esta pregunta busca ver la creatividad, capacidad de análisis y observación del estudiante. Hasta ahora no se le ha dado ningún indicio sobre la causa de este fenómeno, y es interesante ver cómo explican los estudiantes esta situación.

4) ¿Qué sucede cuando se le agrega tierra fina y se vuelve a agregar la gota?

Se podría hacer esto solo con una hoja, pero la idea es que se repita el procedimiento viendo que el resultado es el mismo. La capa lipídica de la hoja se cubre con la tierra fina y la gota de agua se esparce en la tierra, cambiando sus propiedades en relación a la primera gota. Esto va a depender de la cantidad de tierra fina agregada a la hoja. Puede ocurrir que la gota se aplane o que se haga más esférica en función del tipo de material depositado.

### Explicación de Conceptos (10 – 15 min)

Inicialmente se repasan, una por una, las preguntas de forma oral para incentivar la participación de los estudiantes, escuchando una o dos respuestas, sin invertir mucho tiempo en esta parte. Posteriormente se prosigue explicando aquellos conceptos de una forma clara para los estudiantes. También se buscará transmitir los conceptos en una secuencia para que se produzca un orden lógico que facilite su aprendizaje.

### Grasas y aceites

Se inicia con el típico ejemplo de agua y aceite. ¿Qué ocurre cuando se mezcla agua y aceite? El agua se va a mantener abajo y el aceite arriba ¿Correcto? Aunque se mezcle vigorosamente siempre va a tender a separarse. Ahora ¿Qué sucede si tratamos de mezclar grasa sólida y agua? La grasa, también llamada cera, se mantendrá unida y se esparcirá en la superficie del recipiente que lo contiene sin mezclarse con el agua. La poca afinidad entre el agua y la cera es uno de los principios de porque las hojas mantienen la forma de la gota, a estas superficies se les llama superficies hidrofóbicas, que no les gusta el agua, entre más hidrofóbica sea una superficie mayor será la forma esférica de la gota de agua en ella.



*Figura 1. Superficies hidrofóbicas*

### **Efecto Loto**

Se llama así por las hojas de loto, cuya superficie es superhidrofóbica (superficie que repele fuertemente el agua).



*Figura 2. Hoja de loto*

El efecto loto consta de dos principios, el primero es el que se menciona anteriormente, la superficie encerada de la hoja no permite que la gota se mueva libremente en la hoja, que es una superficie hidrofóbica. El segundo principio es la forma de su superficie, ya que está constituida por dos tipos de regiones. Unas zonas largas, extensas y formadas por cúmulos de orden de micras ( $10^{-6}$  m). Otras zonas conformadas por pequeños vellos o filamentos de tamaño nanométrico ( $10^{-9}$  m). Estas nanoestructuras hacen que la superficie de contacto aumente y se vuelva más hidrofóbica.

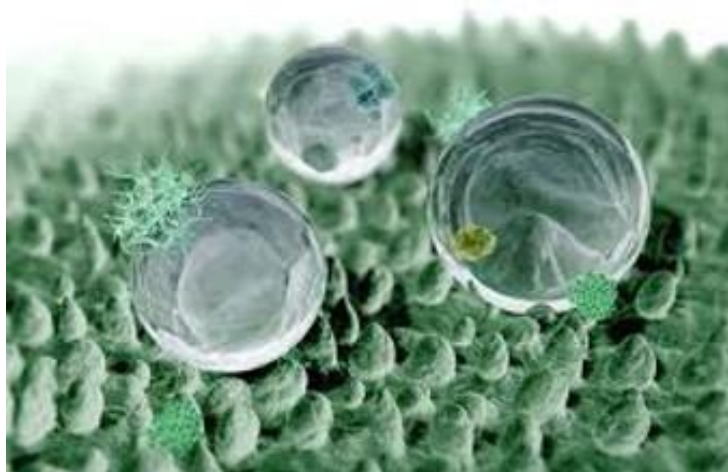


Figura 3. Superficie de las hojas de loto

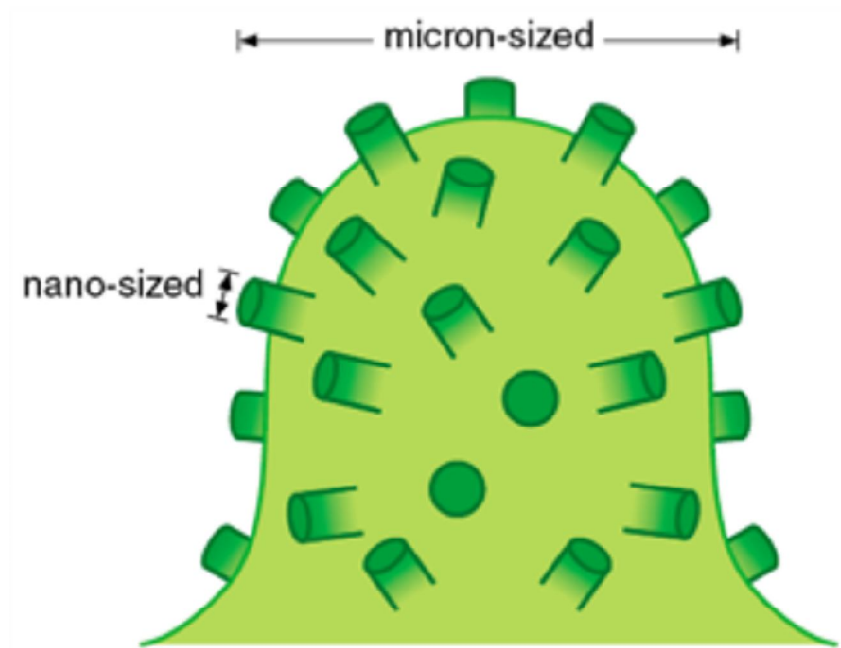


Figura 4. Filamentos nanométricos

Este tipo de superficies también se encuentran en la naturaleza en los insectos y algunos otros animales. Sus propiedades son ideales como medio de protección contra el agua, pero también tienen otras aplicaciones más específicas.



Figura 5. Libélula

## **Aplicaciones del efecto loto en la Nanotecnología**

Las aplicaciones de este material son diversas, sin embargo, todos se basan en el mismo principio un recubrimiento que convierta cualquier superficie en superhidrofóbica. En las referencias se menciona un video que muestra diversas aplicaciones de este principio en la industria.

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

Se podría solicitar a los estudiantes raer o aplastar la superficie de las hojas y poner una gota de agua, para ver cómo cambia la interacción de la superficie y la gota de agua. Al cambiar la conformación de la superficie se pierde su hidrofobicidad.

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

Esta actividad no requiere tomar precauciones específicas.

## **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- NanoBioNet, "Experiments 1: Experiments to obtain the lotus effect". Saarbrücken: NanoBioNet e. V.
- M. Pérez, "Ultra-Ever Dry: la nanotecnología superhidrofóbica que repele cualquier líquido"  
Accesible en: <http://blogthinkbig.com/ultra-ever-dry-nanotecnologia-hidrofobica/>
- A. Sakinah, "El efecto Loto"  
Accesible en: <http://abusakinah.com/efecto-loto/?lang=es>
- Este video muestra varias aplicaciones de los recubrimientos superhidrofóbicos <http://youtu.be/FzB1-pMI6Cw>.

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Se proporciona un material complementario consistente en tres hojas en las que se muestran las indicaciones generales, se realizarán las anotaciones de las observaciones realizadas por los estudiantes y se responden a una serie de preguntas. El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina "Anexos - Ficha Didáctica – I.6 – MC.doc".



# EFEITO DE TYNDALL EM SOLUÇÕES COLOIDAIS DE OURO

A.L.C. Campos<sup>(1)</sup>, C.J.R. Silva<sup>(2)</sup>, M.J. M. Gomes<sup>(3,\*)</sup>

(1) Escola Básica 2, 3 e Secundária de Celorico de Basto, Portugal

(2) Departamento de Química, Escola de Ciências, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal.

(3) Departamento de Física, Escola de Ciências, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal

\*Correo electrónico autor de contacto: mjesus@fisica.uminho.pt

## FICHA II.1

### RESUMEN DE LA ACTIVIDAD

Sintetizaram-se nanopartículas de ouro de diferentes tamanhos utilizando o método de Turkevich [1]. Observou-se a cor das soluções coloidais sob luz branca e, relacionou-se com os respetivos espectros de absorção ótica numa gama entre os 250 nm e os 700 nm. Deste modo, foi possível estimar o tamanho das nanopartículas através da posição da banda de ressonância plasmónica no espectro de absorção. Fez-se atravessar um feixe laser de He-Ne (632 nm) através das diferentes soluções tendo-se observado a dispersão do feixe nas soluções coloidais. Os alunos acompanharam a atividade experimental com a resolução de uma ficha de trabalho de modo a facilitar a aquisição e compreensão dos conhecimentos abordados. A atividade desenvolvida consta de um vídeo de apoio didático que se encontra disponível no *Youtube* [2], e constitui uma ferramenta de trabalho útil para qualquer professor de Física e Química que pretenda explorar o tema "Nanociência e Nanotecnologia" ao nível do Ensino Secundário.

### OBJETIVOS DIDÁCTICOS

- Preparar, experimentalmente, soluções, colóides e suspensões;
- Observar e interpretar o comportamento de soluções, de colóides e de suspensões com a incidência de luz branca;
- Observar e interpretar o comportamento de soluções, de colóides e de suspensões com a incidência de um feixe de luz monocromática;
- Distinguir entre soluções, colóides e suspensões.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 14-18**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: MEDIO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 2,5 horas**

(2 a 3 períodos de 45-50 minutos cada)

### **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Físico-Química, Ensino Básico (9ºano de escolaridade)
- Química, Ensino Secundário
- Física, Ensino Secundário

### **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Os alunos devem estar familiarizados com os conceitos de solução/mistura homogénea, luz e cor. Devem, igualmente, ter destreza manual exigida para a realização de rotinas laboratoriais como a preparação de soluções e utilização de equipamento de pesagem e de material aferido.

### **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Esta atividade deverá ser implementada após a aula de preparação de soluções proposta no programa do 10º ano (ensino Secundário).

### **MATERIALES**

A relação de material fornecida é para grupos de 3 a 5 alunos. Na impossibilidade de se dispor o material necessário para a realização experimental, aconselha-se um computador com acesso à internet e um projetor multimédia, para visualização da experiência em vídeo.

- 1 proveta de 20 ml
- 1 micropipeta de 2ml
- 1 erlenmeyer de 50 ml
- 5/7 frascos de amostras transparente
- 1 agitador magnético
- 1 placa de aquecimento com agitador magnético
- 1 luz laser de He-Ne (vermelho, cdo 670 nm)
- Solução diluída de ácido cloráurico triidratado [ $5,14 \times 10^{-4}$  mol/dm<sup>3</sup>]
- Solução de citrato de sódio diidratado [ $0,0387$  mol/dm<sup>3</sup>]

- Água destilada
- Giz

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

Dependendo do material, equipamento e ponderado o tempo que o professor tem disponível para a realização desta atividade, este poderá optar por: (i) realizar a atividade na sala de aula, sob a forma de demonstração para a classe dos alunos, (ii) colocar os alunos a realizar a atividade (aconselhado) ou (iii) exibição do vídeo de apoio [2].

Em diálogo com os alunos, o professor deverá recordar os conceitos de base envolvidos nesta atividade e já trabalhados nas aulas anteriores, nomeadamente solução, colóide e suspensão; bem como as características distintivas de cada um deles.

Durante este período o professor deverá introduzir o conceito de nanopartícula e explorar, de uma forma muito básica e sintética algumas das suas propriedades físicas e químicas.

Assim, o professor deverá dar a conhecer à turma que as nanopartículas são partículas cujas dimensões variam entre uma escala de alguns nanómetros e um micrómetro; factor que lhes proporciona uma grande estabilidade, tornando impraticável a sua separação por processos de separação comuns, como por exemplo, a filtração. Deverá ainda referir que para alguns tipos de nanopartículas, as suas propriedades químicas e físicas, designadamente a cor, dependem do tamanho, da forma e do meio em que estão dispersas/imersas.

Deverá realçar igualmente que as nanopartículas apresentam propriedades distintas dos materiais à escala macroscópica, o que as torna elementos relevantes para diversas aplicações, em particular: (bio)sensores; electrocatálise; desenvolvimento de dispositivos electrónicos, etc.

Antes de dar início à atividade prática (ou visualização do vídeo), o professor deverá fornecer, aos alunos, uma ficha de apoio (Figura 4) enumerando os objetivos deste trabalho e indicar que estes devam tomar notas das observações efetuadas.

Concluída a atividade, os alunos serão convidados a partilhar as observações recolhidas com os restantes elementos da turma de modo a proporcionar a devida discussão e se proporcionar obter, mutuamente, as esperadas conclusões.

Durante este debate é essencial que o professor faça com que os alunos recordem as noções de luz e cor lecionadas no 8º ano. Os alunos deverão ter presente que a cor não é uma propriedade intrínseca dos materiais, mas sim o resultado da interação da radiação com o material e a respetiva interpretação sensorial por parte do observador.

Deverão recordar-se também que, quando a luz branca atravessa um meio ótico, sofre modificação, sendo determinados comprimentos de onda absorvidos, aparecendo o meio colorido ao observador: ao olho humano apenas chega a fração de luz transmitida ou refletida, dita complementar da fração que é absorvida; os comprimentos de onda da fração que o meio transmite ou reflete definem a cor do meio que o observador. Como exemplo, o professor poderá mostrar o gráfico de absorção obtido no espectrofotómetro para as diferentes amostras, realçando o pico máximo de absorção de cada uma (Figura 1). Deste modo os alunos poderão estabelecer a correspondência entre os comprimentos de onda ao qual se dá a absorção máxima e o que é transmitido ao observador, e assim relacionar com a cor da solução observada em luz transmitida.

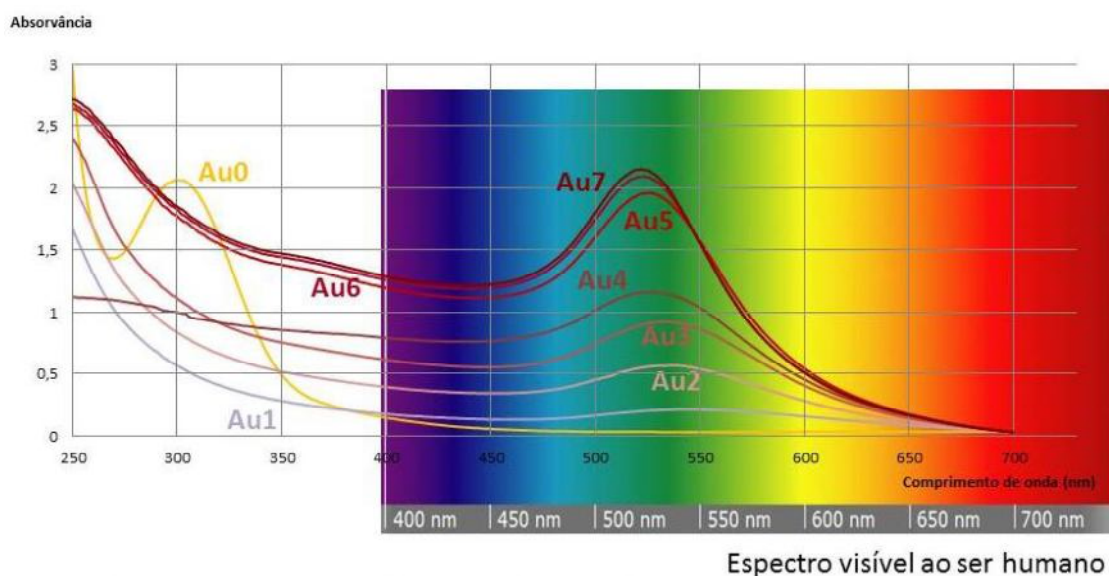


Figura 1. Espectros de absorvância obtidos na gama do UV-Vis para as diferentes amostras preparadas sendo que Au0 representa a solução diluída de  $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ; e as amostras coloidais recolhidas por ordem crescente de tempo de reação estão representadas por Au1 a Au7 (os diâmetros estimados para as nanopartículas que constituem estas amostras diminuem com o aumento do tempo reacional) [3].

Aquando a discussão do efeito de Tyndall, o professor deverá chamar a atenção para o diâmetro do feixe, aproximadamente cinco milímetros, quando atravessa o ar. E pedir para que os alunos comparem aquele com o do feixe aquando este atravessa as diferentes amostras (Figura 2) [4].



*Figura 2.* Observação do Efeito de Tyndall nas amostras coloidais (b e c) mas não na solução diluída de ácido cloráurico (a).

Registadas as principais conclusões, e para dar início à resolução das questões pós-laboratoriais, o professor faz incidir o feixe laser sobre uma amostra de uma suspensão. Como suspensão o professor poderá usar uma mistura de água com poeira ou pó de giz (Figura 3).



*Figura 3.* Observação do espalhamento do feixe de luz ao atravessar uma suspensão.

Os alunos deverão resolver as questões pós-laboratoriais individualmente ou em grupo. O professor prestará auxílio acompanhando cada um dos alunos, ou grupo de

alunos. Dependendo do tempo, o professor pode optar por pedir aos alunos para resolver a ficha de trabalho (Figura 4) como tarefa de trabalho de casa.

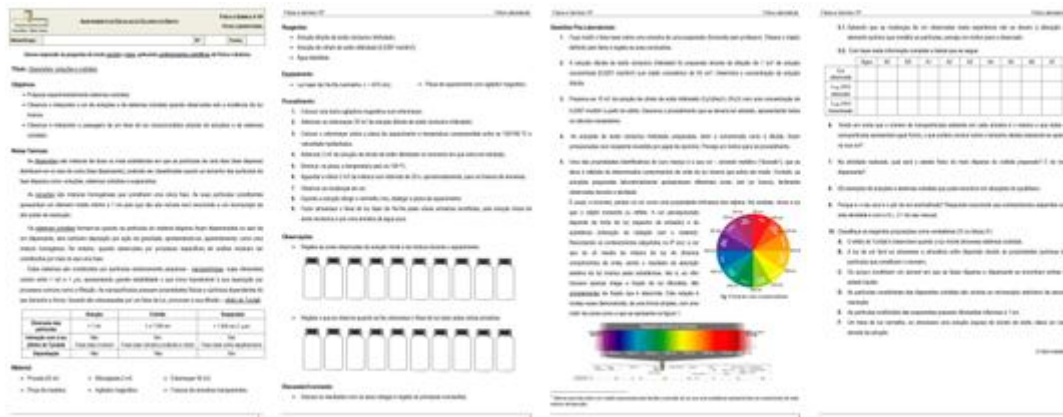


Figura 4. Ficha Laboratorial [Ref. 5]

### Obtención de la nanopartícula

O processo de obtenção das nanopartículas está descrito nas fichas de trabalho [5]. Neste espaço, aproveita-se para indicar os dados das soluções necessárias para a preparação das nanopartículas. Estas soluções poderão ser preparadas pelos alunos em aulas anteriores aquando o estudo da preparação de uma solução a partir de um soluto sólido ou por diluição de soluções.

Os valores referentes às soluções foram estipulados para uma turma dividida em oito grupos de alunos. Assim, será necessário preparar 10 cm<sup>3</sup> de uma solução aquosa de ácido cloroáurico(III) trihidratado [HAuCl<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O] de concentração 0,0257 mol/dm<sup>3</sup>; 200 cm<sup>3</sup> de uma solução aquosa de ácido cloroáurico(III) trihidratado de concentração 5,14x10<sup>-4</sup> mol/dm<sup>3</sup>; 20 cm<sup>3</sup> de uma solução aquosa de citrato de sódiodihidratado [C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub>·2H<sub>2</sub>O] de concentração 0,0387 mol/dm<sup>3</sup>. Os cálculos exigidos para a preparação das soluções deverão ser realizados pelos alunos de acordo com o raciocínio que se segue:

- Preparação de uma solução de um determinado volume e de concentração conhecida a partir de um sólido

Determinar a massa molar da substância e aplicar as fórmulas matemáticas que permitem o cálculo da concentração de modo a determinar a massa de soluto a medir

$$c = \frac{n}{V}; \quad n = \frac{m}{M} \Rightarrow c = \frac{m}{M \cdot V} \Leftrightarrow m = c \cdot M \cdot V$$

onde,  $c$  representa a concentração da solução em mol/dm<sup>3</sup>;  $M$  a massa molar da substância em g/mol; e  $V$  o volume da solução a preparar, em dm<sup>3</sup>.

- Preparação de uma solução com volume e concentração conhecidos a partir de uma outra solução mais concentrada.

Ter a noção de que a quantidade química do soluto é igual em ambas soluções (concentrada e diluída) e aplicar a fórmula matemática que permite o cálculo da concentração:

$$n_i = n_f \Leftrightarrow c_i \cdot V_i = c_f \cdot V_f \Leftrightarrow V_i = \frac{c_f \cdot V_f}{c_i}$$

onde,  $c_f$  representa a concentração da solução diluída em mol/dm<sup>3</sup>;  $V_f$  o volume da solução diluída em dm<sup>3</sup>;  $c_i$  representa a concentração da solução concentrada em mol/dm<sup>3</sup>; e,  $V_i$  o volume da solução concentrada em dm<sup>3</sup>.

### **Preguntas que deben proponerse a los alumnos.**

Durante a resolução da ficha de trabalho (Figura 4), os alunos são levados a pensar sobre a diferença observada no trajeto do feixe ao atravessar coloides e suspensões; os cuidados a ter no manuseamento do material; as diferentes cores exibidas pelas amostras coloidais recolhidas; as diferenças no tamanho das nanopartículas constituintes das amostras; e, por fim, tentarem aplicar os conhecimentos adquiridos na interpretação de um fenómeno natural.

### **Debate sobre los puntos de vista expuestos.**

Os alunos, independentemente do método utilizado (execução da atividade ou visualização do vídeo), deverão concluir ser observável um feixe laser cilíndrico evidente e nítido nas amostras recolhidas durante o aquecimento. Nas soluções de ouro, concentrada e diluída, e no solvente (a água), o feixe laser é invisível. Deverão igualmente compreender que quando uma suspensão e um coloide é atravessada por um mesmo feixe de luz, o comportamento é distinto. Nos coloides observa-se um feixe laser cilíndrico evidente e nítido, enquanto que nas suspensões esse mesmo feixe de luz sofre maior espalhamento e aparece difuso.

No que diz respeito à interpretação da cor exibida pelas várias amostras recolhidas, os alunos deverão ter maior dificuldade, necessitando de melhor orientação por parte do professor. Também para se inferir sobre o tamanho das partículas, será tarefa do professor fazê-los compreender o facto do tamanho das nanopartículas ter diminuído de amostra para amostra, uma vez que o feixe laser era muito mais nítido na última amostra recolhida.

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

### **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

Cuidados no manuseamento do ácido cloroáurico(III) trihidratado [ $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ]:

R: 22-34-43; S: 26-36/37/39-45

### **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- [1] [http://www.nanolab.unimore.it/it/?page\\_id=4912](http://www.nanolab.unimore.it/it/?page_id=4912)
- [2] <http://youtu.be/f4JXVwOQFos>
- [3] FELDHEIM, Daniel L., FOSS, Colby A. Metal Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Applications. New York: Marcel Dekker, Inc., 2002. p. 21, 89 – 97, 184.
- [4] LIAW, Jiunn-Woei et all. Wavelength-dependent Faraday-Tyndall effect on laser-induced microbubble in gold colloid. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. 2012, Vol. 113, Issue 17, p. 2234–2242.
- [5] CAMPOS, Ana Luísa Carvalho –“Nanociência e nanotecnologia nos ensinos básico (3º ciclo) e secundário” Braga [s.n.], 2013. Dissertação de Mestrado em Ciências - Formação Contínua de Professores (área de especialização em Física e Química), Escola de Ciências da Universidade do Minho, 2013

### **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Como material complementar aconselha-se a consulta do vídeo da atividade em <http://youtu.be/f4JXVwOQFos> e a ficha de trabalho com a respetiva proposta de resolução no documento [5].



# SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA (AgNP)

Joaquín Darío Tutor Sánchez\*

Dpto. Ingeniería Mecánica

ETSI-ICAI Universidad Pontificia Comillas

c/ Alberto Aguilera 25. 28015 Madrid. España

\*Correo electrónico de contacto: [jdtutor@upcomillas.es](mailto:jdtutor@upcomillas.es)

## FICHA II.2

### RESUMEN DE LA ACTIVIDAD

Esta ficha está diseñada para familiarizar a los estudiantes con la síntesis de reducción de nanopartículas de plata y adquirir experiencia, con herramientas sencillas de caracterización utilizadas en la ciencia, para identificar la presencia de objetos de tamaños nanométricos.

### OBJETIVOS DIDÁCTICOS

- Saber preparar soluciones coloidales de nanopartículas de plata (AgNP) como uno de los métodos de nanofabricación de “abajo a arriba”: síntesis de nanopartículas.
- Utilizar la propiedad de difusión de la luz como un método óptico sencillo de identificar la presencia de AgNP en suspensión en un medio líquido.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 14-18**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: MEDIO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 45 minutos**

### ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD

- Física y Química (Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Biología (Bachillerato)

### CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS

Los alumnos deben poseer conocimientos previos sobre soluciones, soluciones coloidales, reacción redox, óptica geométrica y difusión de la luz.

### MATERIALES

#### Parte 1: “Síntesis de AgNP”:

- Solución acuosa 0,1 M de AgNO<sub>3</sub> (sugerencia: AgNO<sub>3</sub> CAS 7761-88-8)
- Solución acuosa 0,1 M de α-D-glucosa (sugerencia: α-D-glucosa CAS 50-99-7)

- Solución acuosa 0,2% wt. (en peso) almidón soluble (sugerencia: almidón soluble CAS 9005-84-9)
- 2 Pipetas de 10 mL
- Pipeta o probeta graduada de 100 mL
- Placa eléctrica
- Frasco Erlenmeyer o vaso de precipitados (beaker)
- Vidrio reloj
- Viales de vidrio

## Parte 2: "Caracterización óptica":

- Puntero láser

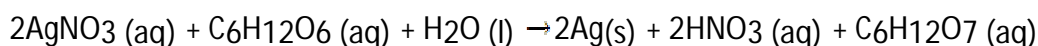
## DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

### Sugerencias al Maestro

Las nanopartículas están constituidas por miles de átomos de un elemento o un compuesto químico y son extremadamente pequeñas; sus tamaños van de 1 a 100 nanómetros (nm). Un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro o sea  $1 \times 10^{-9}$  m. Las nanopartículas a menudo tienen propiedades diferentes a las asociadas con la misma composición en tamaños de micro y macro escala. Por ejemplo, la plata, el oro y el cobre interactúan con la luz de forma diferente a escalas de tamaño nanométricos, lo que a su vez afecta el color del elemento o compuesto químico.

Nanopartículas de plata se han utilizado como un agente antibacteriano, y puede incluso matar las cepas de bacterias nocivas que son resistentes a los antibióticos. Las nanopartículas de plata se han utilizado en la fabricación de vendajes para heridas, mascarillas quirúrgicas, envasado de alimentos, tratamiento de agua, e incluso la confección de calcetines que impiden el crecimiento de bacterias que causan mal olor. Debido a la generalización de las AgNP, es importante que los alumnos entiendan sus aplicaciones, así como las soluciones potenciales que ofrecen a determinados problemas. Vea la sección de recursos para obtener información general sobre nanopartículas de Ag, así como las implicaciones ambientales.

Las nanopartículas de plata (AgNP), o de plata coloidal, se sintetizarán en presencia de almidón de acuerdo con la siguiente reacción redox:



En esta reacción, la glucosa ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) reduce los cationes de plata desde el nitrato de plata. A medida que se forma la plata metálica son recubiertas por capas de almidón lo que les impide la agregación de las nanopartículas formadas y así evitar la formación de partículas de tamaño más grandes. Materiales con tamaños nanométricos a menudo tienen diferentes propiedades en comparación con los materiales volumétricos; por ejemplo, las nanopartículas de plata se ven amarillas. Esta práctica de laboratorio ayudará a los alumnos a entender que no sólo las nanopartículas son extremadamente pequeñas, sino que también sus propiedades difieren del material a micro o macro escala.

### Preparación previa de las soluciones por parte del maestro:

- Para preparar la solución 0,1 Molar  $\text{AgNO}_3$ : diluir 1.6988g  $\text{AgNO}_3$  (CAS 7761-88-8) en 100 ml de agua des-ionizada.
- Para preparar la solución 0,1 Molar de glucosa: diluir 1.8016g de glucosa (CAS 50-99-7) a 100 ml con agua des-ionizada.
- Para preparar la solución 0,2% wt. (en peso) de almidón soluble: disolver 0,4 g de almidón soluble (9005-84-9) en 200 ml agua des-ionizada.

### Procedimiento correspondiente a la Parte 1 "Síntesis de AgNP".

(Esta parte de la clase puede ser realizada de forma demostrativa por el maestro si no hubiese las condiciones materiales necesarias. En caso contrario puede ser realizada por grupos de dos o tres alumnos)

1. Coloque 2 ml de 0,1 M de  $\text{AgNO}_3$  en un matraz Erlenmeyer o vaso de precipitados.
2. Añadir 5 ml de 0,1 M de glucosa, asegurándose de que se pone en contacto con el  $\text{AgNO}_3$ .
3. (¡No use la pipeta usada en el punto anterior para no contaminar la solución de glucosa!).
4. Agite la solución de almidón varias veces. Añadir 100 ml de la solución de almidón.
5. Calentar la solución en una placa eléctrica para un valor alto de temperatura hasta que la misma esté hirviendo vigorosamente. ¡No revuelva la solución!

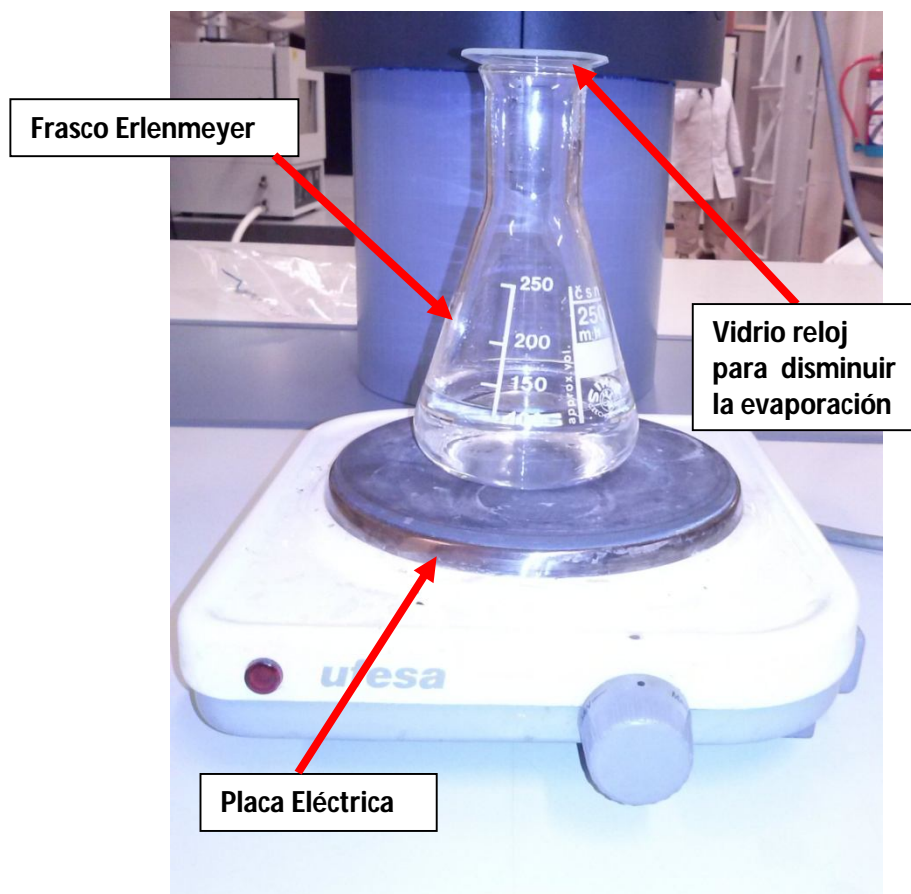


Figura 1. Síntesis de nanopartículas de plata (AgNP)

6. Hervir la solución durante 25 minutos. La solución debe ponerse ligeramente amarilla.
7. Retire la muestra de la placa caliente, y deje que la solución coloidal de AgNP se enfríe.

**Procedimiento correspondiente a la Parte 2: "Caracterización óptica":**

Con la utilización de un puntero laser es posible identificar, por difusión de la luz, la presencia de partículas de plata en suspensión en la solución coloidal. Este efecto de difusión es conocido como "difusión cuasielástica" y se debe al efecto de dispersión Rayleigh de la radiación electromagnética por partículas con tamaños característicos inferiores a la longitud de la radiación incidentes sobre ellas.

1. Rellenar parcialmente un vial con la solución coloidal de AgNP
2. Rellenar parcialmente un vial con una solución 0,1 M de  $\text{AgNO}_3$  en la que no hay partículas de plata en suspensión. Este vial servirá de referencia como solución no coloidal
3. Apuntar con el puntero laser a ambos viales

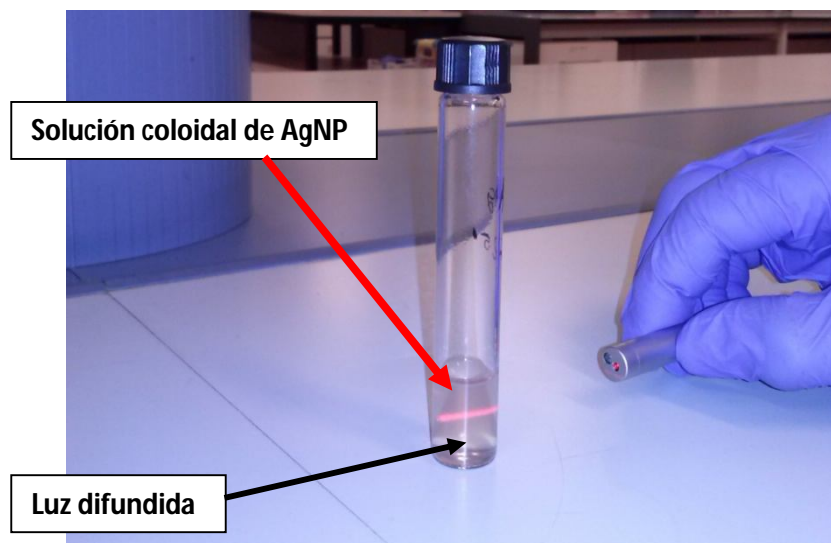


Figura 2. Difusión de la luz del puntero laser por las AgNP

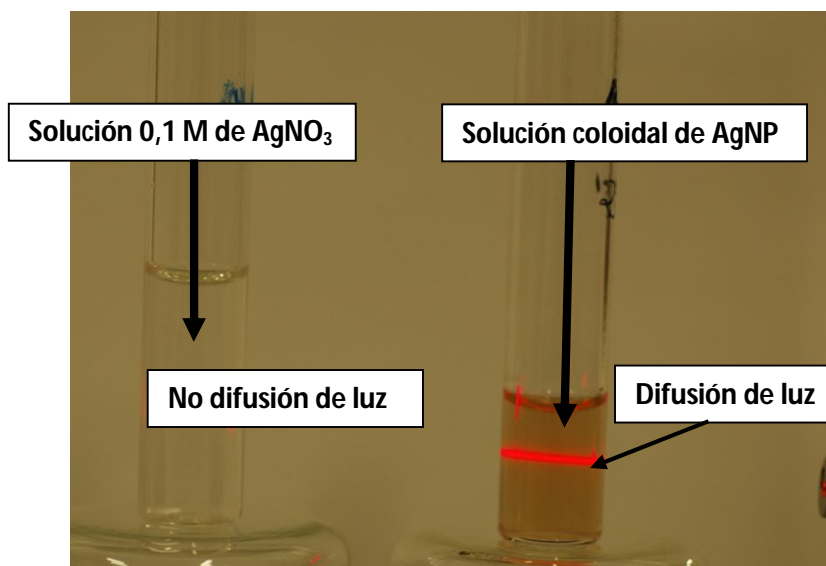


Figura 3. Comparación de difusión de luz en solución coloidal de AgNP y no difusión de luz en solución 0,1 M de  $\text{AgNO}_3$

### Instrucciones para la actividad

- Haga que los alumnos realicen la actividad siguiendo los pasos descritos en el apartado de procedimiento, o que sigan atentamente la actividad demostrativa del maestro.
- Haga que los alumnos anoten los resultados del experimento en su cuaderno de trabajo.
- Haga que los alumnos redacten un párrafo para describir los resultados del experimento y sus reflexiones sobre sus experiencias durante esta actividad.

### SEGURIDAD Y PRECAUCIONES

#### Información de seguridad

- Utilice gafas de seguridad y guantes al manipular los productos químicos.
- No use barra de agitación magnética durante la síntesis.
- Tener impresa las Fichas de Datos de Seguridad (FDS) para prácticas de laboratorio.
- No dirija el haz láser hacia los ojos.

#### Limpieza

- Deje que las placas calientes se enfrien antes de guardarla.
- Las soluciones químicas pueden ser eliminadas de acuerdo con la regulación local de residuos.

### REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN

#### Referencias

- Kalaugher, L. (2004, January 12). *Green Technique Makes Silver Nanoparticles*. Retrieved July 3, 2007, from Nanotechweb.org: <http://nanotechweb.org/articles/news/3/1/1/1>
- Liu, X., Atwater, M., Wang, J., & Huo, Q. (2006). Extinction coefficient of gold nanoparticles with different sizes and different capping ligands. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*.
- Raveendran, P. F. (2006). A Simple and "Green" Method for the Synthesis of Au, Ag, and Au-Ag Alloy Nanoparticles. *Green Chemistry*, 34-38.
- Raveendran, P., Fu, J., & Wallen, S. L. (2003). Completely "Green" Synthesis and Stabilization of Metal Nanoparticles". *J. Am. Chem. Soc.*, 13040-13041.
- *Silver Nanoparticles S-MITE*. (n.d.). Retrieved July 31, 2007, from American Elements: Silver Nanoparticles Supplier & Tech Info: [www.americanelements.com/agnp.html#MSDS](http://www.americanelements.com/agnp.html#MSDS)
- Solomon, S. D., Bahadory, M., Jeyarajasingam, A. V., Rutkowsky, S. A., Boritz, C., & Mulfinger, L. (2007). Synthesis and Study of Silver Nanoparticles. *Journal of Chemical Education*, 322-325.

#### Recursos

- La Plata como agente antimicrobiano:  
[http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Silver\\_as\\_an\\_Antimicrobial\\_Agent#Current\\_uses](http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Silver_as_an_Antimicrobial_Agent#Current_uses)
- Nanopartículas de Plata y el medio ambiente:  
<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es2001248>
- Información sobre Nanopartículas: <http://www.nanoparticles.org/>
- Síntesis y Aplicaciones:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535210000377>

- Impactos medioambientales:  
[http://cohesion.rice.edu/centersandinst/icon/emplibrary/ICON-Backgrounder\\_NanoSilver-in-the-Environment-v4.pdf](http://cohesion.rice.edu/centersandinst/icon/emplibrary/ICON-Backgrounder_NanoSilver-in-the-Environment-v4.pdf)  
y  
[http://www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*/70057/---/!](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/70057/---/!)

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Esta ficha no tiene materiales complementarios.

# **SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA RECUBIERTAS DE CITRATO. ESTABILIDAD EN SOLUCIONES DE DISTINTA COMPOSICIÓN**

J. Maya Girón, Y. Chain, M.A. Daza Millone, F. Castez, M. E.Vela\*

Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA, CONICET-UNLP)

Diagonal 113 esquina 64. Casilla de correo 16, Sucursal 4

1900-La Plata, Argentina

\*Correo electrónico autor de contacto: mevela@inifta.unlp.edu.ar

## **FICHA II.3**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

Este trabajo experimental busca que los alumnos realicen la síntesis de nanopartículas de plata recubiertas con citrato manejando procedimientos sencillos en el laboratorio del establecimiento educativo. También se comprobarán las propiedades ópticas de estas suspensiones coloidales respecto de la dispersión de la luz comparándolas con soluciones salinas y su estabilidad en presencia de otras sustancias disueltas en la solución.

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- Discutir las propiedades químicas y físicas observables de las nanopartículas de plata. Discutir las diferencias con las de la plata masiva.
- Establecer la distinción entre soluciones y suspensiones.
- Reconocer los factores que afectan la estabilidad de las nanopartículas en soluciones acuosas.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 15-17**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: MEDIO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 1 hora**

### **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)

- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Tecnología

## CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS

Los alumnos deben poseer conocimientos básicos de química tales como nomenclatura de compuestos químicos, nociones acerca de unidades de concentración de soluciones y manejo de material de laboratorio.

## OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN

Es conveniente realizar una discusión previa acerca de los distintos tipos de nanomateriales tales como nanotubos y nanopartículas y sus posibles aplicaciones para motivar el interés en el procedimiento de síntesis propuesto y la observación de las propiedades de estas suspensiones. Un experimento sencillo que muestra las propiedades de dispersión de la luz de partículas coloidales consiste en preparar una muestra de gelatina del tipo de las que se obtienen comercialmente para uso comestible y ver el comportamiento de el rayo láser de un puntero al atravesarla.

## MATERIALES

### Reactivos:

- Nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ )
- Citrato trisódico dihidratado ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ), al que llamaremos citrato de sodio
- Borohidruro de sodio ( $\text{NaBH}_4$ )
- Agua destilada

### Material de vidrio y de laboratorio

- Anteojos de seguridad
- Guantes de látex o nitrilo
- Balanza electrónica con precisión de 0.001 g
- Tubos de ensayo de vidrio de 10 mL
- Matracas aforados de 5, 10 y 50 mL
- Erlenmeyer de 50mL
- Pipetas graduadas de 1 y 10 mL
- Pipeta automática que permita medir 25 $\mu\text{L}$
- Agitador magnético
- Termómetro para controlar temperatura con una precisión de 0.5 C



- Dispositivo emisor de láser (puede ser un puntero del tipo de los usados en clase)

## DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

Se preparan las respectivas soluciones de la siguiente manera:

- *Obtención de solución nitrato de plata 0.25mM:* Se pesan 0.021 g de  $\text{AgNO}_3$  y se disuelven con agua destilada en un matraz de 5mL, obteniéndose una solución de 25mM como concentración final. De esta solución, se toman 0.5mL y se disuelven en un matraz de 50mL con agua destilada, para obtener finalmente una solución de  $\text{AgNO}_3$  0.25mM.
- *Obtención de solución de citrato trisódico dihidratado: 0.25mM:* Se pesan 0.037 g de citrato de sodio y se disuelven con agua destilada en un matraz de 5mL, obteniéndose una solución de 25mM como concentración final. De esta solución, se toman 0.5mL y se disuelven en un matraz de 50mL con agua destilada, para obtener finalmente una solución de Citrato 0.25mM.
- *Obtención de solución de borohidruro de sodio 0.1M:* Se pesan 0.038 g de  $\text{NaBH}_4$  y se disuelven con agua destilada en un matraz de 10mL

Luego de tener preparadas todas las soluciones, se procede a mezclar 10mL de  $\text{AgNO}_3$  0.25mM con 10mL de Citrato 0.25mM en un matraz Erlenmeyer de 50mL de capacidad. Se adicionan posteriormente 25 $\mu\text{L}$  de  $\text{NaBH}_4$  0.1M previamente enfriados en una baño de hielo – agua a  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ . Se agita vigorosamente con ayuda de un buzo magnético, durante 3 min. La solución acuosa finalmente obtenida cambia de color.

## OBSERVACIONES PARA ANALIZAR Y DISCUTIR

1. Observar el color de la solución de nitrato de plata antes y después del agregado de citrato y borohidruro.
2. Propiedades ópticas de coloides respecto de la dispersión de la luz.

Procedimiento: colocar en un tubo de ensayo o recipiente de vidrio una fracción de la suspensión de nanopartículas de plata. En otro recipiente igual colocar una solución de sulfato de cobre obtenida disolviendo esta sal en agua hasta obtener un azul intenso pero que no presente turbidez. Atravesar con el rayo láser de un puntero la solución de nanopartículas de plata y la solución de sulfato de cobre. Observar las diferencias. Discutir en base a las propiedades de las suspensiones coloidales y de las soluciones. El/la docente puede utilizar la presentación Power Point que se adjunta como material complementario para apoyar las explicaciones sobre las propiedades ópticas de los coloides.

3. Estabilidad de la suspensión de nanopartículas en presencia de otras sustancias disueltas en solución.

Procedimiento: Colocar en dos tubos de ensayo o recipientes de vidrio un volumen de 1mL de la solución de nanopartículas de plata (Tubo I y II). Preparar aparte dos soluciones: una solución de cloruro de sodio (NaCl), pesando 3.4g en 10 mL de agua destilada (Solución A) y otra pesando 5g de azúcar en 10mL de agua destilada (Solución B). Agregar gota a gota la Solución A en el tubo I y la Solución B en el tubo II, observar en cada adición lo que ocurre.

## PRECAUCIONES Y SEGURIDAD

El desarrollo de esta actividad involucra los riesgos típicos de manejo de productos químicos, material de vidrio y equipamiento básico de laboratorio. El nitrato de plata en contacto con la piel puede producir quemaduras y el borohidruro de sodio es inflamable y tóxico. Las cantidades empleadas en este trabajo son muy pequeñas por lo cual se recomienda al docente transvasar ambos productos del envase original a uno de menor capacidad. Usar los equipos convencionales de seguridad en laboratorio (bata, guantes, gafas, etc.).

## REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN

- "Nanotecnología, el desafío del siglo XXI", Galo Soler Illia, Buenos Aires, Eudeba, 2010
- "Nanopartículas metálicas y plasmones de superficie,: una relación profunda", Daniel A. Cruz, Miriam C. Rodríguez, Juan M. López, Virginia M. Herrera,Alejandro G. Orive, Alberto H. Creus, Avances en Ciencias e Ingeniería, 3(2), 67-78 (2012)
- "Nanopartículas de plata: tecnología para su obtención, caracterización y actividad biológica", Gerardo Leyva Gómez, Investigación en discapacidad, Vol. 2, Núm. 1,pp 18-22 (2013).
- "Nanomateriales", M.E. Calafat, Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fís. Nat. (Esp), Vol. 97, N.º 2, pp 271-287 (2003).
- <http://francis.naukas.com/2011/12/09/la-nanotecnologia-y-la-quimica-coloidal-espanola-en-la-revista-science/>
- "Synthesis and Study of Silver Nanoparticles, Sally D. Solomon, Mozghan Bahadory, Aravindan V. Jeyarajasingam, Susan A. Rutkowsky and Charles Boritz", Journal of Chemical Education, Vol. 84, pp 322-325 (2007).

## MATERIALES COMPLEMENTARIOS

Se proporciona como material complementario un conjunto de diapositivas que permitirán apoyar las explicaciones del docente. El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina "Anexos - Ficha Didáctica – II.3 – MC.ppt".

# **SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS DE ÓXIDO DE HIERRO**

J. Maya Girón, M. Calderón, C. Vericat\*

Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA, CONICET-UNLP)

Diagonal 113 esquina 64. Casilla de correo 16, Sucursal 4

1900-La Plata, Argentina

\*Correo electrónico autor de contacto: cvericat@inifta.unlp.edu.ar

## **FICHA II.4**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

Este trabajo experimental busca que los alumnos realicen la síntesis de nanopartículas de óxido de hierro (magnetita) empleando un procedimiento sencillo. Se comprobarán sus propiedades magnéticas y las propiedades ópticas de estas suspensiones coloidales respecto de la dispersión de la luz.

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- Discutir las propiedades químicas y físicas observables de las nanopartículas de óxido de hierro.
- Discutir las diferencias con otros óxidos de hierro más comunes.
- Establecer la distinción entre soluciones y suspensiones.
- Reconocer el comportamiento magnético en presencia de un imán. Comparar con los óxidos / hidróxidos de hierro obtenido en ausencia del sulfito de sodio.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 15-17**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: ALTO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 2 horas**

### **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)

- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Tecnología

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deben poseer conocimientos básicos de química, tales como nomenclatura de compuestos químicos, nociones acerca de unidades de concentración de soluciones y manejo de material de laboratorio.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Es conveniente una discusión previa acerca de los distintos tipos de nanomateriales, tales como nanotubos y nanopartículas, y sus posibles aplicaciones para motivar el interés en el procedimiento de síntesis propuesto y la observación de las propiedades de estas suspensiones.

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

Esta actividad pretende alcanzar tres objetivos:

1. Sintetizar nanopartículas magnéticas de óxido de hierro (magnetita,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).
2. Comprobar las propiedades magnéticas de las nanopartículas.
3. Comprobar las propiedades ópticas de las nanopartículas.

Al terminar la actividad los alumnos deben saber lo que son los coloides, deben distinguir entre soluciones y dispersiones coloidales, dando algunos ejemplos de ambos tipos de sistemas, y deben saber cómo se manifiestan las propiedades magnéticas de los materiales.

### **Síntesis de nanopartículas de $\text{Fe}_3\text{O}_4$ sin recubrimiento en el laboratorio escolar.**

#### Reactivos:

- $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Na}_2\text{SO}_3$
- NaOH
- Agua destilada.

#### Materiales:

- Vidrios de reloj para pesar
- Espátula
- Balanza (capaz de pesar hasta 0,01 g)

- Platina calefactora con agitación magnética
- Vasos de precipitados de 10 mL
- Matraces aforados de 10 mL
- Matraz aforado de 100 mL
- Matraz cónico de Erlenmeyer de 100 mL
- Barra de agitación magnética de Teflón
- Pipetas de 5 mL
- Probeta de 100 mL.

#### Procedimiento:

Se preparan las respectivas soluciones de la siguiente manera:

- $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  2M: Se pesan 5.41 g de  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  y se disuelven en agua destilada en un matraz aforado de 10 mL.
- $Na_2SO_3$  1M: Se pesan 1.26 g de  $Na_2SO_3$  y se disuelven en agua destilada en un matraz aforado de 10 mL.
- $NaOH$  1M: Se pesan 4.01g de  $NaOH$  y se disuelven en agua destilada en un matraz aforado de 100 mL.

Luego de tener preparadas todas las soluciones, se procede a mezclar 3 mL de  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  y 2 mL de  $Na_2SO_3$  en un vaso de precipitados de 10 mL. La solución pasa de un color amarillo anaranjado a un color rojo oscuro. Por otra parte se miden 75 mL de  $NaOH$  1M en probeta y se colocan en un matraz Erlenmeyer de 100 mL. La solución de  $NaOH$  del matraz Erlenmeyer debe estar en la platina (sin calentar) con la barra de agitación magnética a una velocidad constante y vigorosa. Posteriormente sobre la solución de  $NaOH$  se adiciona rápidamente la mezcla de color rojo de  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  con  $Na_2SO_3$ , sin parar la agitación vigorosa. Se observa la formación de un precipitado de color negro. La agitación continúa durante 20 min.

#### Síntesis de óxidos / hidróxidos de hierro:

Repetir la síntesis anterior pero reemplazando los 2 mL de solución de  $Na_2SO_3$  por 2 mL de agua destilada.

#### Observaciones para analizar y discutir:

Observar en cada caso el color de las soluciones de sales de hierro antes y después del agregado de los otros reactivos. ¿Las diferentes soluciones son límpidas o turbias? ¿Los sólidos obtenidos presentan las mismas características?

#### **Propiedades magnéticas de las NPs.**

##### Materiales:

- Tubos de ensayo
- Gradilla para tubos
- Imán

##### Procedimiento:

Colocar en sendos tubos de ensayo fracciones de la suspensión de nanopartículas de óxido de hierro y de la suspensión obtenida en ausencia de  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ . Acercar un imán a las paredes de los tubos y desplazarlo en distintas direcciones. Observar lo que sucede. Retirar el imán y repetir el procedimiento. Discutir el fenómeno observado en base a las propiedades de las nanopartículas. Discutir posibles aplicaciones de este fenómeno.

#### Separación de las nanopartículas magnéticas del medio de reacción:

Después de la reacción, la solución obtenida se coloca en un campo magnético permanente, para separar las partículas por decantación magnética; esto se realiza colocando un imán en la parte inferior del recipiente de reacción y descartando el sobrenadante. Finalmente, las partículas que quedan en el matraz Erlenmeyer se lavan con agua destilada y se separan por decantación magnética.

#### **Propiedades ópticas de los coloides respecto de la dispersión de la luz.**

##### Materiales:

- Tubos de ensayo
- Gradilla para tubos
- Puntero láser de baja potencia

##### Procedimiento:

Colocar en sendos tubos de ensayo una fracción de la dispersión de nanopartículas de hierro. En otro tubo de ensayo colocar una fracción de la solución de sales de hierro ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), sin otro agregado de reactivo. Atravesar con el haz láser del puntero las dispersiones de nanopartículas de óxido de hierro y la solución de sales de hierro. Observar las diferencias. Discutir en base a las propiedades de las dispersiones coloidales y de las soluciones. Se debe mencionar que la síntesis propuesta se basa en una considerable simplificación de la síntesis del trabajo de Shengchun Qu et al. (ver la sección con las referencias de apoyo).

#### **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

El desarrollo de esta actividad involucra los riesgos típicos de manejo de productos químicos, material de vidrio y equipamiento básico de laboratorio. Durante todas las experiencias relacionadas con la síntesis de nanopartículas es necesario usar bata, gafas de seguridad y guantes de látex o nitrilo. En el momento de observar las propiedades ópticas hay que tener precaución con el puntero láser (no apuntar a los ojos).

#### **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- "Nanotecnología, el desafío del siglo XXI", Galo Soler Illia, Buenos Aires, Eudeba, 2010.
- "Magnetite Nanoparticles Prepared by Precipitation from Partially Reduced Ferric Chloride Aqueous Solutions", Shengchun Qu et al, Journal of Colloid and Interface Science 215, 190–192 (1999)

- “La nueva era de los nanomateriales”, E.E. Gonzalez, Revista Nano Ciencia y Tecnología ([www.revistanano.org](http://www.revistanano.org)), Vol 1 No 1, 34-45(2013).
- <http://metode.cat/es/Revistas/Monografics/Nano/El-majuscul-impacte-dallo-minuscul>

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Para apoyar las explicaciones relacionadas con las propiedades ópticas se puede utilizar la presentación que acompaña a la Ficha Didáctica II.3 de esta Guía Didáctica, que se encuentra en los Anexos de la Guía y se denomina “Anexos - Ficha Didáctica – II.3 – MC.ppt”. En dichos Anexos se incluye también una película con el nombre “Anexos - Ficha Didáctica – II.4 – MC.mov” en formato 3GPP donde se muestra el efecto de un imán sobre la suspensión coloidal preparada.





# **MOLDEO DE SUPERFICIES NANO / MICROESTRUCTURADAS. INTERACCIÓN DE LA LUZ VISIBLE CON NANOPATRONES SUPERFICIALES**

Alejandro Miñán, Roberto C. Salvarezza, Patricia L. Schilardi\*

Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA)

Facultad de Ciencias Exactas, UNLP – CONICET

Diag. 113 - esq. 64, La Plata, Buenos Aires, Argentina

\*Correo electrónico autor de contacto: pls@inifta.unlp.edu.ar

## **FICHA II.5**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

Esta ficha presenta un sencillo método para evidenciar la transferencia de patrones superficiales en la nanoescala y la interacción de la luz con patrones nanométricos. La actividad permite introducir los conceptos de luz visible, longitud de onda, difracción de la luz, fuerzas de adhesión.

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- Evidenciar la transferencia de patrones superficiales en la nanoescala.
- Evidenciar la interacción de la luz con patrones nanométricos.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 12-16**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: MEDIO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 50 minutos**

(La actividad se desarrolla en 2 etapas de 30 y 20 minutos, respectivamente)

**ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Tecnología

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deben poseer nociones acerca de la radiación electromagnética, longitud de onda, fuerzas de interacción, de las unidades de longitud y de algunos de los prefijos usados en ciencia. Los alumnos deben dominar los conceptos de metro, kilómetro, centímetro, y milímetro.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Es conveniente que los alumnos ya estén familiarizados con los contenidos descritos en las Fichas Didácticas del Bloque I.

## **MATERIALES**

- Disco compacto virgen (CD) (marca orientativa: Verbatim)
- Papel de aluminio
- Espejo
- Puntero láser.
- Sellador siliconado (marca orientativa: Fastix)
- Cúter
- Pinzas
- Cinta adhesiva (por ambas caras) o pegamento del tipo cianoacrilato
- Portaobjetos

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

### **Etapa 1**

#### 1.1. Interacción de la luz con patrones superficiales nanométricos:

Observar la superficie del disco compacto con una fuente de luz blanca e identificar los diferentes colores que se observan. El patrón nanométrico separa las diferentes longitudes de onda que componen la luz blanca. Hacer incidir el haz del puntero láser sobre la superficie del CD cambiando el ángulo de incidencia, de manera que la luz reflejada se proyecte sobre una superficie clara (una pared, por ejemplo) hasta

observar la aparición de una línea de puntos debida a la difracción de la luz del láser producida por el patrón superficial del CD, cuyas dimensiones son del orden de la longitud de onda del láser. Repetir el procedimiento haciendo incidir la luz del láser sobre el espejo. Se observará un único punto reflejado, debido a que no hay patrones superficiales ordenados capaces de producir la difracción de la luz.

## 1.2. Moldeo de superficies nanoestructuradas (nanolitografía)

Disponer el disco compacto con el recubrimiento metálico hacia arriba. Con el cúter, marcar un rectángulo sobre la superficie y luego, despegarlo cuidadosamente del plástico del CD utilizando pinzas adecuadas. Adherir la lámina despegada con cinta bifaz o pegamento al portaobjetos de manera que quede expuesta hacia arriba la cara de la lámina que se encontraba en contacto con el plástico del CD. Se puede observar un patrón de colores sobre la superficie, debido a la difracción de la luz que producen los canales de ancho y altura nanométricos que se encuentran en la superficie. Las dimensiones de este patrón son del orden de la longitud de onda de la luz visible, por lo que produce la difracción antes mencionada. Esta lámina será el molde desde el cual se transferirá el patrón superficial.

Una vez que la lámina está inmovilizada sobre el portaobjetos, colocar encima una capa delgada del sellador siliconado, distribuyendo el material con otro portaobjetos. Repetir el procedimiento reemplazando la película extraída del CD por un trozo de papel de aluminio. Dejar secar al aire al menos 24 horas o en estufa a 28°C durante 5 horas.

## **Etapa 2**

Una vez seca la capa de sellador, despegar cuidadosamente la película utilizando las pinzas y colocar sobre un fondo oscuro, cuidando de exponer hacia arriba la cara de la película que estuvo en contacto con el molde. Observar a diferentes ángulos para percibir el patrón de colores producidos por la difracción de la luz en el caso de la película polimérica moldeada con el CD. Observar que ese patrón de colores no se evidencia en la película de sellador moldeada con el papel de aluminio. Esta difracción es provocada por el patrón de canales ordenados transferidos desde el CD a la película polimérica.

Nota. El procedimiento se puede realizar con diferentes materiales, siempre que las fuerzas de adhesión superficiales entre el material depositado y la lámina metálica del CD sean bajas. En este caso, el aluminio tiene propiedades hidrofílicas y el sellador siliconado propiedades hidrofóbicas, por lo que el despegado de la lámina moldeada se realiza sin dificultad. Por ejemplo, si se reemplaza el sellador por pegamento del

tipo cianoacrilato, al ser éste afín a superficies hidrofílicas, las fuerzas de adhesión son tales que no permite el despegado del material.

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

### **Propuesta de investigación.**

Se puede proponer a los alumnos una tarea de investigación en internet acerca de los siguientes temas:

- Diferentes métodos de nanofabricación (nanolitografías suave y dura, métodos top down y bottom up) y su aplicación en la fabricación de dispositivos de uso cotidiano (sistemas de almacenamiento digital, sensores, circuitos integrados, etc.)
- Interacción de la luz con sistemas nanoestructurados naturales (coloración de algunos insectos y mariposas).
- Efecto de las nanoestructuras superficiales sobre las propiedades de mojado (superhidrofobicidad, efecto flor de loto) y sus aplicaciones tecnológicas (superficies autolimpiantes).

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

La manipulación de cúter debe ser cuidadosa. No dirigir el haz láser hacia los ojos de las personas.

## **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- <http://www.sciencedaily.com/releases/2013/07/130717105936.htm>. Atención, este material tiene textos en inglés
- [http://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/uploads/spanish/8886/structuresbutterfly\\_sign\\_sp\\_08nov11\\_0.pdf](http://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/uploads/spanish/8886/structuresbutterfly_sign_sp_08nov11_0.pdf)
- <http://issuu.com/argos/docs/namef59594>
- <http://blogthinkbig.com/ultra-ever-dry-nanotecnologia-hidrofobica/>

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Se proporciona un material complementario consistente en un conjunto de diapositivas que muestran los pasos a llevar a cabo para realizar el experimento propuesto. El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina "Anexos - Ficha Didáctica – II.5 – MC.ppt".

# **MICROTÚBULOS: NANOESTRUCTURAS MULTIFUNCIONALES**

S. Barbosa-Cornelio<sup>(1)</sup>, C. Martínez<sup>(2)</sup> y J. Giraldo Gallo<sup>(3,\*)</sup>

(1) Instructora TecnoParque SENA - Nodo Cazucá - Línea de Biotecnología y Nanotecnología, Bogotá, Colombia

(2) Docente de la Secretaría de Educación Distrital, Asesora de la Corporación Buinaima, Estudiante de la Maestría en Enseñanza de las Ciencias - Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia)

(3) Profesor titular de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, presidente de la Corporación Buinaima, Bogotá (Colombia)

\*Correo electrónico autor de contacto: [jjgiraldog@unal.edu.co](mailto:jjgiraldog@unal.edu.co)

## **FICHA II.6**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

Los microtúbulos son en realidad nanohilos biológicos del citoesqueleto que cumplen diversas funciones y tienen un enorme potencial para aplicaciones en las tecnologías convergentes, NBIC (Nano-Bio-Info-Cogno). Estudiaremos algunas de sus propiedades y las aprovecharemos para ilustrar conceptos y procesos relacionados con la neurociencia, la nanociencia y la nanotecnología, en particular el proceso de polimerización y despolimerización, el transporte axonal, el procesamiento de la información, el mantenimiento de las neuronas y la unidad de las tecnologías convergentes NBIC.

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- Incursionar en el mundo “nano” de la biología y las neuronas
- Familiarizarse con algunos conceptos de la neurobiología
- Discutir en grupos posibles implicaciones de las tecnologías convergentes
- Examinar algunas posibles aplicaciones tecnológicas de los microtúbulos
- Establecer diferencias entre especulaciones y modelos teóricos

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 16-18 Años**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: ALTO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 2 horas**

(Se propone que se haga en 2 sesiones de 60 minutos cada una, la 1ª introductoria)

## **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Biología (Bachillerato)
- Tecnología
- Ciencias Humanas y Sociales

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

El tema que se abordará es novedoso, incluso para la mayoría de los docentes; el lenguaje que se requiere es bastante especializado y los conceptos requeridos no son triviales, por lo que se pide preparar a los estudiantes con suficiente anticipación. Se sugiere asumir la actividad como un mini-proyecto de investigación o indagación que tomará varias semanas. Es posible que solo se pueda realizar con un grupo selecto de estudiantes.

El tema se divide en 2 actividades. Para la primera, no es necesario hacer referencia a la neurociencia. La segunda se destinaría a este tópico, que por su dificultad conceptual puede dejarse como opcional. Los estudiantes deben investigar previamente o estar familiarizados con algunos de los organelos que se encuentran en el interior de las células, especialmente en el citoesqueleto y sus componentes (tubulina, actina, microfilamentos) y otros nanocomponentes (p.e., protofilamentos y neurofilamentos) dentro de las neuronas como células especializadas, mielina, axones, dendritas, glías, etc., e investigar con ayuda del profesor sobre el proceso de polimerización y despolimerización, que ocurre en particular en los microtúbulos.

Se les pide también indagar por anticipado o reforzar algunos conceptos básicos como carga eléctrica y dipolo eléctrico, potencial de acción y de retardo, y otros más sofisticados como el transporte iónico, molecular y de proteínas, y sobre algunos procesos más complejos como el procesamiento de la información.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Se recomienda llevar a cabo estas actividades en 2 sesiones (la 2ª opcional), después de haber desarrollado la mayor parte de actividades previstas en las fichas anteriores.

En particular, se aconseja haber realizado previamente las actividades I.1 a I.3 y algunas del bloque III. En algunos casos (en Colombia dentro del Programa Ondas de Colciencias o en la TecnoAcademia del SENA, por ejemplo), sería motivador realizar algunas de las sesiones como preparación para el proyecto a largo plazo que se sugiere.

Es muy importante tener en cuenta que los microtúbulos y sus componentes, y otras nanoestructuras relacionadas, y de los cuales no conocemos muy bien su funcionamiento y su papel, ni siquiera en la división celular, mucho menos en el procesamiento de la información son objeto de estudio y han generado grandes debates; puede aprovecharse la oportunidad para introducir a los más inquietos a esos campos de frontera y de discusión académica.

## **MATERIALES**

- Debe proveerse a cada estudiante (o grupo de estudiantes) con una fotocopia de las 2 lecturas: “¿Qué son los microtúbulos y para qué sirven?”, “¿Qué papel juegan los microtúbulos en el cerebro?” (Las dos lecturas se encuentran al final de esta ficha).
- Hojas de papel en blanco
- Bolas de icopor de 1 o 2 cm de diámetro, de dos colores diferentes (se pueden pintar durante la actividad).
- Colores
- Lápiz
- Borrador
- Esfero
- Temperas
- Pincel
- Nylon o alambre dulce
- Aguja punta roma

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

### **Sesión I. Primer taller**

1. Hacer en grupo la lectura I: “¿Qué son los microtúbulos y para qué sirven?”
2. Ver en grupo el video 1, “Microtúbulos” referenciado en la Propuesta de Actividades.
3. En grupos de cuatro personas como máximo intentarán representar esquemáticamente un microtúbulo, identificando sus componentes y la forma en que se organizan. Para ello, emplear los materiales suministrados de manera que se diferencie e identifique claramente:
  1.  $\alpha$  y  $\beta$  tubulina - emplear las bolas de icopor, las témperas, el pincel
  2. protofilamento - emplear las bolas pintadas, el nylon y la aguja

3. microtúbulo - si cuentan con suficiente material por grupo se puede realizar uno por grupo, de lo contrario, entre varios grupos reunirse para conformar el microtúbulo a partir de los protofilamentos generados previamente
4. El maestro o la maestra seleccionará unas preguntas, a partir del examen minucioso de la lectura, para que sean respondidas y debatidas entre los diferentes grupos. Aquí es importante que se empleen las hojas de papel, los lápices y colores para realizar dibujos, esquemas u otro tipo de representación (origami) que apoyen las respuestas a las preguntas realizadas.

## **Sesión II. Segundo taller**

1. Hacer en grupo la lectura II que se encuentra al final de esta ficha: "¿Qué papel juegan los microtúbulos en el cerebro?"
2. En grupos de 4 o más personas discutir la lectura.
3. Cada persona redactará un cuento corto (no más de media página) iniciando con la siguiente frase: "*Era un día normal, el tráfico a través del axón fluía normalmente, hasta que...*" (Esta actividad puede dejarse para otro encuentro. De ser así, podría generarse una especie de concurso con una actividad similar a esta. Por ejemplo, representaciones plásticas en torno a la misma temática: dibujo, historieta, escultura, etc.)
4. Compartir los escritos generados en una plenaria grupal.
5. Concluir en grupo sobre la importancia de estas estructuras celulares para las tecnologías convergentes.
6. Ver y discutir en grupo el video 2 de Propuesta de Actividades

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

Proyectar el video 1 sobre microtúbulos disponible en:  
<http://www.youtube.com/watch?v=m1A0T8VtMcl>

Proyectar el video 2, disponible en:  
<http://ciertaciencia.blogspot.com/2013/04/claridad-la-mirada-traves-del-cerebro.html>

Disponer de tiempo para conocer la opinión que de los videos se formen los estudiantes, permitiendo que durante diez minutos puedan complementar sus ideas con los compañeros de grupo con los cuales crearon la estructura, y luego durante otro periodo de diez minutos entre todos los grupos puedan complementar y compartir sus ideas.

Dar respuesta a preguntas como estas (este es solo un modelo) según el video:

- ¿Qué es el citoesqueleto? ¿Qué importancia tiene para la célula?
- ¿Qué es un microtúbulo? Y qué función le ha llamado más la atención.
- ¿Cuál es la diferencia entre un microtúbulo y un microfilamento?



- ¿Qué función cumplen las kinesinas y las dineínas?
- Según su concepto, ¿qué es nanoneurociencia?
- ¿Qué aplicación les gustaría proponer? ¡Hay que usar la imaginación!
- Se sugiere al docente hacer otras preguntas, comparando tamaños, funciones, estructuras, importancia, etc.
- ¿Por qué a las NBIC se les denomina tecnologías convergentes? Investigar alrededor de los debates que estos estudios han generado.

## PRECAUCIONES Y SEGURIDAD

El desarrollo de esta actividad no entraña riesgos.

## REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN

- Video Claridad (tomado del blog de Josefina Cano, traducido por ella): <http://ciertaciencia.blogspot.com/2013/04/claridad-la-mirada-traves-del-cerebro.html>
- Video: Nanotecnología (El mundo de arriba a abajo). Programa redes. Eduardo Punset. <http://www.youtube.com/watch?v=eCxHJ4rKMGQ>. Consulta 15 de Julio de 2014.
- Historia de la nanotecnología. Consulta 15 de Julio de 2014. [http://es.wikipedia.org/wiki/Historia\\_de\\_la\\_nanotecnolog%C3%ADa](http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_nanotecnolog%C3%ADa)
- Conde, Cecilia, and Alfredo Cáceres. "Microtubule assembly, organization and dynamics in axons and dendrites." *Nature Reviews. Neuroscience* **10.5** (2009): 319-332.
- Kandel, E. *et al.* (2013). *Principles of neural sciences*. (McGraw-Hill, Fifth edition.)
- Se dan a continuación algunos enlaces que pueden ayudar a orientar las actividades:
  - [http://www.ehowenespanol.com/diferencia-microtubulos-microfilamentos-info\\_203607/](http://www.ehowenespanol.com/diferencia-microtubulos-microfilamentos-info_203607/)
  - <http://webs.uvigo.es/mmegias/5-celulas/7-actina.php>
  - <http://webs.uvigo.es/mmegias/5-celulas/7-microtubulos.php>
  - <http://www.madrimasd.org/canales/salud-biomedicina/tendencias/el-gran-desconocido-de-la-division-celular>
  - <http://www.quantumconsciousness.org/penrose-hameroff/quantumcomputation.html>

## MATERIALES COMPLEMENTARIOS

La realización de esta actividad se apoyará en la presentación que se encuentra en los Anexos de esta Guía con el nombre "Anexos - Ficha Didáctica – II.6 – MC.ppt". La

actividad también puede apoyarse en varias presentaciones en Power Point disponibles en la red, como esta que se encuentra en el enlace:  
<http://es.slideshare.net/bemaguali/nanotecnologia-2929597?related=1>

## FICHA DIDÁCTICA – II.6 - LECTURA I

### ¿QUÉ SON LOS MICROTÚBULOS Y PARA QUÉ SIRVEN?

Nota: Esta primera lectura es de carácter científico (no especulativo).

#### Generalidades

Así como el esqueleto y los músculos dan estabilidad y forma a nuestro cuerpo, en las células eucariotas (mucho más pequeñas - de 10 a 100 micrómetros), existe el citoesqueleto encargado de mantener la estructura, estabilidad y forma de las células; este está hecho de **microtúbulos** (estructuras muy pequeñas en forma de tubo que se encuentran en el citoplasma), de proteínas asociadas a ellos, actina y filamentos intermedios. Los microtúbulos son nanotubos naturales que se encuentran en todas las células eucariotas y son fundamentales para las funciones vitales de supervivencia de la célula, entre ellas el transporte de orgánulos y sustancias en el citoplasma, así como en los procesos de reproducción (mitosis y meiosis).

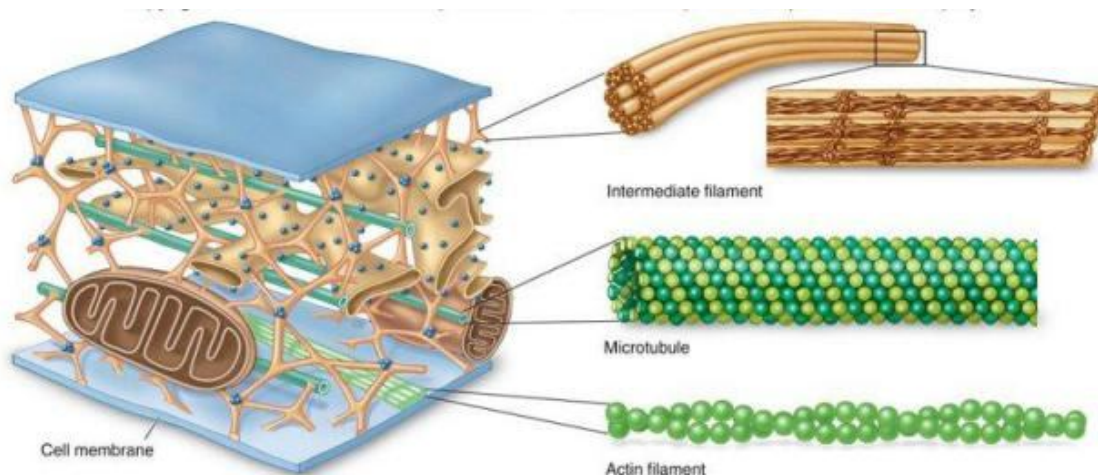


Figura 1. Citoesqueleto. En células eucariotas, este consta de tres tipos principales de filamentos: microfilamentos o filamentos de actina, filamentos intermedios y microtúbulos. Tomado de <http://mariecuriesnews.wordpress.com/tag/citoesqueleto/>.

Los microtúbulos son largos polímeros cilíndricos (macromoléculas orgánicas compuestas de monómeros, en este caso de aminoácidos) cuya estructura la conforman subunidades de tubulina. Puede tener desde 200 nanómetros hasta 25 micrómetros de largo y un diámetro externo aproximado de 25 nanómetros. Los microtúbulos en las células son esenciales para mantener su estructura y movilidad. A semejanza de las calles y autopistas de las grandes ciudades, sirven como pistas de

transporte dentro de la célula y son elementos claves en estructuras celulares como los axonemas, estructuras internas de los cilios y flagelos que permiten el movimiento en organismos unicelulares como el paramecio y la euglena o en células especializadas como los espermatozoides, y en organismos pluricelulares. Así mismo son esenciales en la conformación del huso mitótico, estructura celular que aparece en la metafase durante el proceso de mitosis y meiosis, cuya función es dividir las cromátidas hermanas.

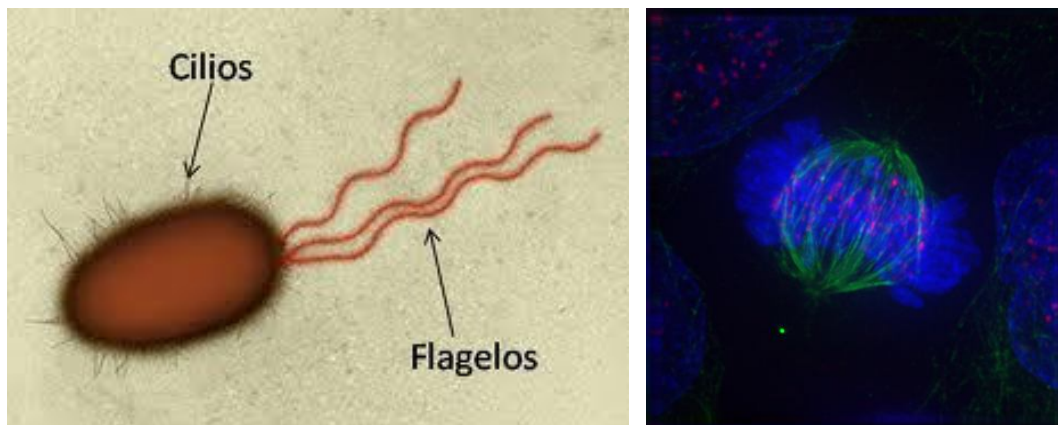


Figura 2. Microtúbulos en cilios, flagelos y huso mitótico. Tomado de [http://cefire.edu.gva.es/pluginfile.php/409593/mod\\_imsdp/content/1/relacin.html](http://cefire.edu.gva.es/pluginfile.php/409593/mod_imsdp/content/1/relacin.html) y <http://es.wikipedia.org/wiki/Mitosis>.

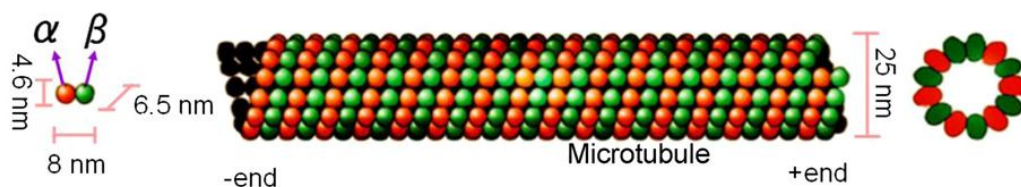


Figura 3. Estructura y parámetros básicos de una molécula de tubulina y el microtúbulo. Tomado de Sahu S, et al. 2013, "Multi-level memory-switching properties of a single brain microtubule", *App. Phys. Letters* **102**, pg. 123701.

### ¿De qué están hechos los microtúbulos?

Los microtúbulos están compuestos por dímeros (la unión de dos monómeros) de tubulina ( $\alpha$  y  $\beta$ ) que presentan un proceso de crecimiento y acortamiento, conocido como inestabilidad química. Los microtúbulos son polares (es decir presentan separación de cargas positivas y negativas), con un extremo de crecimiento más rápido (el extremo *plus*) que el otro extremo (el extremo *minus*); para que esto ocurra hay una polimerización-despolimerización (es decir agrupación y desagrupación de monómeros de aminoácidos de la tubulina), que requiere el gasto de energía en forma

de GTP (guanina-trifosfato). El desensamble se conoce como catástrofe y el crecimiento rápido se denomina rescate.

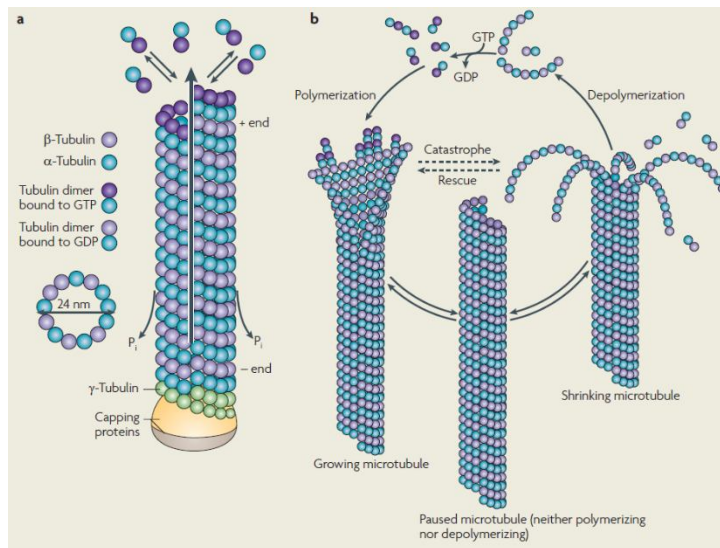


Figura 4. Representación de un microtúbulo. Tomado de Conde C & Cáceres A. "Microtubule assembly, organization and dynamics in axons and dendrites" *Nat. Rev. Neuroscience* 10.5 (2009): 319-332.

Como los microtúbulos son eléctricamente polares, al vibrar generan un campo eléctrico oscilante, que permite mantener la organización interna y la interacción con otras células. Las subunidades de los microtúbulos (heterodímeros de tubulina) son básicamente un dipolo eléctrico.

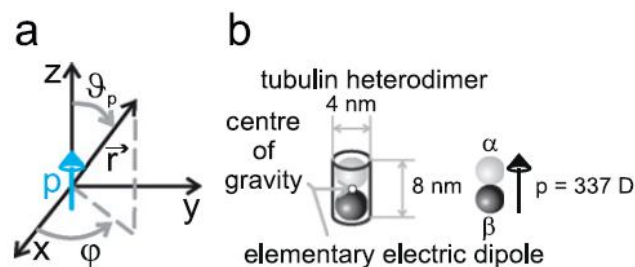


Figura 5. Características de la tubulina. a. Momento de dipolo representado en el plano Cartesiano. b. Heterodímero de tubulina (dimensiones y centro de gravedad). Tomado de Havelka D, Cifra M, Kucera O, Pokorny J, Vrba J. (2011) "High-frequency electric field and radiation characteristics of cellular microtubule network." *J Theoretical Biology* 286 31-40

## ¿Cómo se transportan las moléculas a través de los microtúbulos?

El movimiento a lo largo de los microtúbulos se basa en la acción de las proteínas motoras que utilizan la energía derivada de la hidrólisis de ATP (adenosin trifosfato), para producir fuerza y movimiento. Las familias de proteínas kinesinas y dineínas son responsables de la generación de la variedad de movimientos en los que participan los microtúbulos. La kinesina hacia el extremo *plus* y la dineína hacia el extremo *minus*.

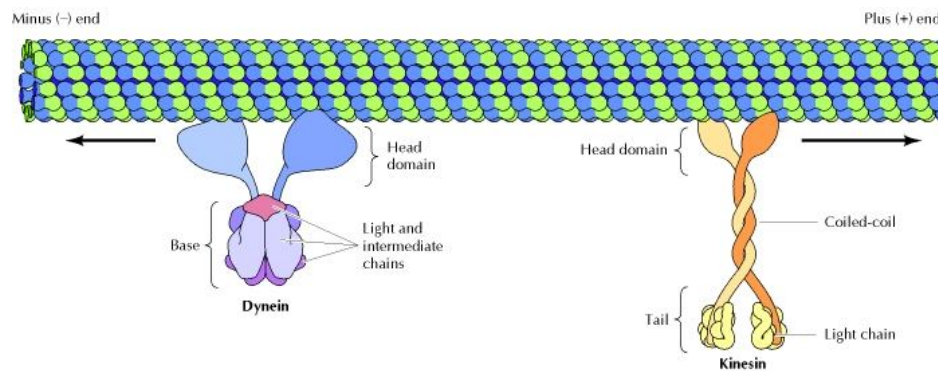


Figura 6. Proteínas motoras de los microtúbulos. Tomado de Cooper, GM. (2000). "Microtubule Motors and Movements - The Cell", NCBI.

## FICHA DIDÁCTICA – II.6 - LECTURA II

### ¿QUÉ PAPEL JUEGAN LOS MICROTÚBULOS EN EL CEREBRO?

Nota: Esta segunda lectura es de carácter científico-especulativo. No todo lo que se afirma está soportado experimentalmente.

#### Generalidades

La NASA (National Aeronautics and Space Administration) se propone diseñar un cerebro artificial nanoelectrónico para sus investigaciones. Se estima que la tarea no se podrá ejecutar antes de 2030. La nanoneurociencia, una nueva rama científica de carácter transdisciplinario, será a la vez la mayor beneficiaria de esas investigaciones y la herramienta más importante para lograrlo. Más que definir qué es nanoneurociencia, nos interesa entender hacia dónde estará encaminada la investigación en las próximas décadas para lograr el propósito anterior y muchos otros que están relacionados. Habrá que empezar por entender mucho mejor cómo funciona nuestro cerebro, pues a pesar de que se ha avanzado enormemente en las últimas décadas, los mecanismos básicos de la cognición, de la memoria, del comportamiento y de la conciencia siguen cubiertos todavía con un velo de misterio.

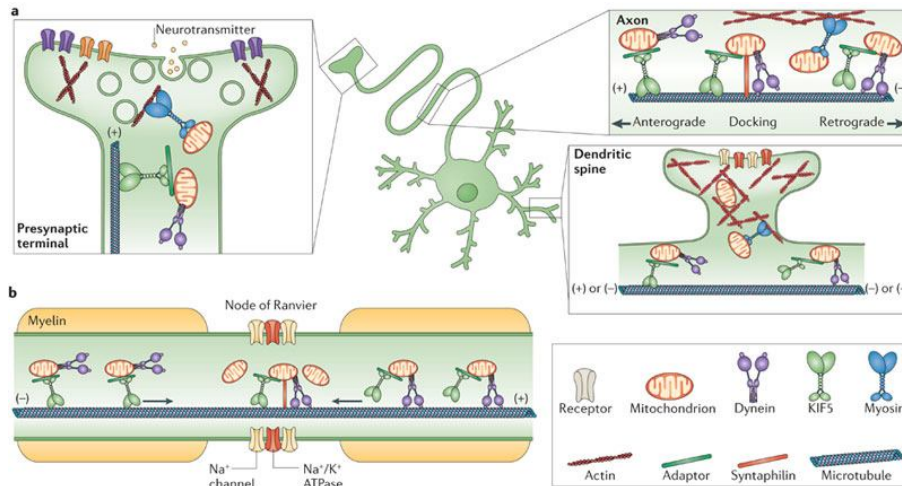
Las neuronas son en muchos aspectos iguales a otras células. Pero tienen también propiedades y sobre todo exhiben comportamientos que las diferencia radicalmente de las que constituyen la mayor parte de tejidos especializados en el organismo. De la misma manera, los microtúbulos desempeñan en las neuronas otras funciones marcadamente diferentes a las que ejercen en otras células del organismo. Un aspecto de sumo interés, relacionado con la característica esencial de las neuronas, su asociación y conectividad, resulta ser el enlace que establecen entre muchos compartimentos neuronales. Solo los microtúbulos transportan vesículas sinápticas que han sido previamente producidas en el aparato de Golgi del cuerpo de la célula, a lo largo del axón hasta los filamentos de actina en el extremo terminal del axón. Se cree que el transporte de los microtúbulos juega un papel fundamental en funciones cognitivas superiores. Como se recordará, el transporte es una de las funciones principales de los microtúbulos.

#### ¿Cómo es el transporte a través de las neuronas?

El transporte intracelular en los axones y dendritas se basa en el “sistema de rieles o pistas”: grandes organelos intracelulares se unen a las proteínas motoras que mediante un proceso químico, usualmente hidrólisis de ATP, experimentan cambios

conformacionales “caminando” a lo largo de los microtúbulos (recuérdese la figura 6 de la Lectura 1.)

El transporte axonal se realiza en dos direcciones: desde el pericarion hacia el extremo distal del axón, y desde el extremo distal hasta el pericarion. El primero se denomina transporte anterógrado y el segundo transporte retrógrado.



Nature Reviews | Neuroscience

*Figura 7. Transporte mitocondrial en neuronas. Las neuronas tienen tres dominios funcionales y estructurales distintos: un cuerpo celular (soma), un largo de axones y dendritas de espesor, con muchas ramas y elaborados gloriets dendríticas. Debido a la compleja geometría de las neuronas, se requieren mecanismos especializados para el transporte de las mitocondrias a sus destinos. Sheng, ZH, CaiQ (2012). “Mitochondrial transport in neurons: impact on synaptic homeostasis and neurodegeneration” Nature Reviews Neuroscience 13, 77-93*

### ¿Por qué son importantes los microtúbulos en el desarrollo y mantenimiento del cerebro?

Para construir y mantener la alta complejidad de las neuronas con sinapsis activas, muchos bloques de construcción básicos - por ejemplo, proteínas, lípidos y materiales celulares, como las mitocondrias y vesículas sinápticas - es necesario direccionarlas hacia los axones o dendritas. Este transporte neuronal puede ser directamente regulado por los microtúbulos del citoesqueleto subyacente.

Las neuronas son especialmente vulnerables a los defectos en el transporte debido a la gran longitud de los procesos neuronales. El axón más largo del cuerpo humano puede ser de hasta 1 metro de largo, mientras que el tamaño promedio de las células neuronales es ~50 μm. Las proteínas motoras y sus reguladores tienen un papel crucial en el desarrollo de muchas enfermedades neurológicas y neurodegenerativas.



La interrupción del transporte intracelular puede dar lugar a alteraciones del transporte vesicular, alterando las interacciones específicas de carga y alterando las interacciones *cargo* específicas y causa defectos en las señales de supervivencia retrógradas, que en última instancia conduce a la muerte neuronal y la pérdida de la función cerebral.

Son frecuentes otros componentes nanométricos en las paredes de las neuronas y en su interior. La siguiente figura compara 3 de esos componentes, a saber, los microtúbulos mismos, los neurofilamentos y los microfilamentos. Estas son denominadas estructuras fibrilares. La más delgada de todas es la de los microfilamentos. Al igual que los microtúbulos, estos experimentan ciclos de polimerización y despolimerización. Ese estado dinámico de microtúbulos y microfilamentos es lo que le permite a la neurona madura retraer viejos axones y dendritas y extender nuevos, manteniéndolos *en forma*. Se cree que esta plasticidad es la que mantiene la eficacia del cerebro para la cognición y el aprendizaje, dependiente de la memoria de largo término.

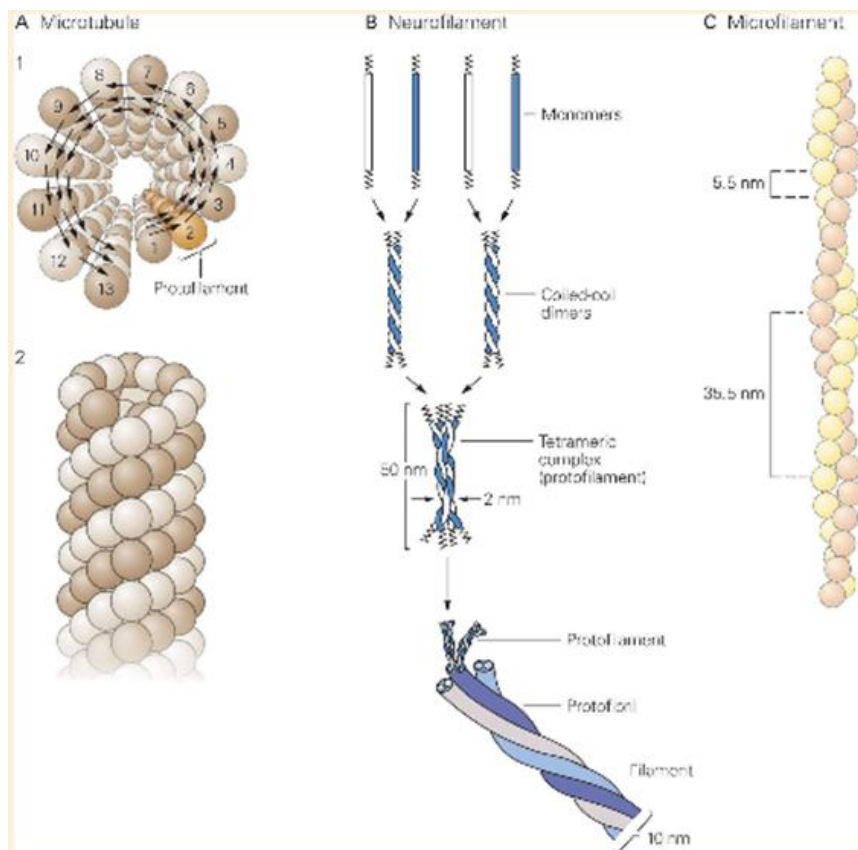


Figura 8. Esquema comparativo de las 3 estructuras fibrilares más importantes de las neuronas. a) Microtúbulos, las nanofibras más grandes. Obsérvese su enrollamiento, similar al de la doble hélice del ADN. b) Neurofilamentos. Dos fibras muy delgadas (monoméricas) se enrollan, para dar lugar a un dímero que también se enrolla en forma tetramérica

*(protofilamento). Dos protofilamentos forman una protofibrila. c) Microfilamento, la fibrilla más delgada (~ 7 nm), compuesta de dos hebras de actina globular polimerizada. (Tomado de Kandel, E. et al. "Principles of Neural Sciences", 5th edition, 2013, pg. 77.)*

### **¿Juegan los microtúbulos algún papel en la generación de la mente y la conciencia?**

Roger Penrose y Stuart Hameroff propusieron a mediados de los 90 que la conciencia surge de "procesos cuánticos coherentes orquestados biológicamente dentro de los microtúbulos". Al margen de que su hipótesis sea correcta o no, algo que no discutiremos aquí, es de destacar la importancia que tienen los microtúbulos para las neuronas y por ende para el cerebro.

La memoria es entendida como el fortalecimiento de las conexiones sinápticas entre las neuronas. Paradójicamente, los componentes de las membranas sinápticas son relativamente de corta duración y con frecuencia re-cicladadas, mientras que los recuerdos pueden durar toda la vida. Esto sugiere que la información sináptica se codifica a una escala más profunda, a una escala más fina de información molecular dentro de las neuronas postsinápticas. La memoria a largo plazo requiere de la expresión genética, la síntesis de proteínas, y la entrega de los nuevos componentes sinápticos.

Los microtúbulos, además de mantener la estructura celular y facilitar el transporte de carga celular, mantienen el control efectivo de la arquitectura neural. La formación de la memoria requiere una reorientación de esta red. Estudios científicos recientes sugieren que la señalización y codificación en los microtúbulos ofrece un procesamiento rápido y sólido de la información, con un gran potencial para el almacenamiento de la memoria, lo que representa un código general para la memoria a base de microtúbulos en las neuronas y otras células eucariotas.

### **La plasticidad cerebral y la estabilidad de las estructuras neuronales**

En el cerebro en desarrollo se forman las dendritas y las espinas dendríticas, las cuales cambian de forma dinámica. Por el contrario, la mayoría de los árboles dendríticos y espinas en el cerebro adulto, son estables durante meses, años e incluso décadas. Recientes estudios han demostrado que la estabilidad de las espinas y los árboles dendríticos tienen un papel crucial en el correcto funcionamiento del cerebro adulto y su pérdida de estabilidad está asociada a desórdenes psiquiátricos y enfermedades neurodegenerativas.

Las dendritas se componen de grandes cantidades de proteínas y lípidos, que deben ser reemplazados continuamente. Aunque esta necesidad es parcialmente suplida por síntesis local de proteínas, otros componentes se deben sintetizar y procesar en otros lugares y llevadas a las dendritas. Los microtúbulos son cruciales en el transporte de proteínas y lípidos, necesarios para mantener la estructura de las dendritas. Las perturbaciones que

alteran el tráfico de las cargas transportadas por los microtúbulos pueden tener efectos devastadores en la formación de dendritas durante el desarrollo y la madurez cerebral.

### **Las tecnologías convergentes se enlazan maravillosamente en los microtúbulos**

Habrás observado el estudiante que en el título nos referimos a la multifuncionalidad de los microtúbulos y en el resumen hemos destacado la importancia de las denominadas tecnologías convergentes nano-bio-info-cogno. También se denominan a veces emergentes y algunos podrían llamarlas divergentes. El nombre es lo de menos, lo importante es que están estrechamente relacionadas y en conjunto provocarán cambios insospechados en el futuro de la humanidad. Nanotecnociencia (nanociencia y nanotecnología), biotecnología, teoría de la información y de la comunicación y ciencias de la cognición y de la conducta son temas de moda. A las sociedades que utilizan adecuadamente todas esas ciencias y tecnologías avanzadas se las puede denominar *sociedades del conocimiento*. Sería demasiado extenso detenernos a examinar las implicaciones de esas nuevas tecnociencias, como podrían denominarse, por lo que culminamos esta segunda lectura haciendo un llamado a reflexionar sobre ellas. La NSF (National Science Foundation, por sus siglas en inglés) produjo hace unos años un extenso documento, fácil de obtener en la red, para muchos de nuestros lectores desafortunadamente en inglés, que bien vale la pena actualizar. Estos son temas de indagación, exploración, investigación y reflexión profunda a los que los niños, adolescentes y jóvenes iberoamericanos para quienes hemos construido estas guías pueden y deben contribuir en un futuro inmediato.



# **MICROSCOPIOS DE FUERZAS ATÓMICAS: LOS OJOS DEL NANOMUNDO**

A. Asenjo Barahona, J.A. Martín Gago, P.A. Serena\*

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM)

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

c/ Sor Juana Inés de la Cruz 3, Campus de Cantoblanco, 28049-Madrid, España.

\*Correo electrónico autor de contacto: [pedro.serena@icmm.csic.es](mailto:pedro.serena@icmm.csic.es)

## **FICHA III.1**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

En esta actividad se describe el funcionamiento de los Microscopios de Efecto Túnel (STM) y de Fuerzas Atómicas (AFM) a través de una analogía con el sistema de lectura Braille empleado por las personas invidentes. Posteriormente se introducen diversos elementos para entender el funcionamiento real de estos microscopios y cómo permiten obtener mapas de corriente o de fuerzas con los que conocer las estructuras de las superficies observadas. Durante la actividad se mostrarán imágenes obtenidas con ambos tipos de microscopios.

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- Conocer las limitaciones de los microscopios ópticos convencionales para observar el nanomundo y cómo es posible salvar esas limitaciones usando otras estrategias.
- Mostrar que es posible medir localmente las corrientes eléctricas y las fuerzas que aparecen entre una pequeña punta (que actúa como sonda) y la muestra.
- Familiarizarse con las imágenes que se construyen a partir de medidas de las fuerzas y corrientes detectadas en una superficie, y asimilar el uso de falsos colores para resaltar detalles de cierto interés.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 14-18**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: MEDIO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 50 minutos**

### **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Biología (Bachillerato)
- Tecnología

### **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deben estar familiarizados con conceptos como átomos, moléculas, nanoescala, corriente eléctrica, potencial eléctrico, fuerzas, la Ley de elasticidad de Hooke y el uso de gráficos para representar datos científicos.

### **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Los alumnos deben poseer conocimientos previos adquiridos en otras fichas didácticas, en especial las relacionadas con el concepto de nanoescala y las que presentan nanomateriales como el grafeno, nanotubos de carbono, etc.

### **MATERIALES**

- Una superficie ondulada (como una huevera, esponjas protectoras usadas en el embalaje de equipos electrónicos, etc.)
- Una varilla o un bolígrafo.
- Una regla de plástico con cierta flexibilidad.
- Pequeña cantidad de plastilina o masilla.
- Materiales complementarios (ver última sección del documento)

### **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

#### **¿Qué debe conocer con anterioridad el profesor?**

Esta actividad presenta a los alumnos, de manera muy sencilla, dos importantes herramientas en nanociencia y nanotecnología: el Microscopio de Efecto Túnel (STM) y el Microscopio de Fuerzas Atómicas (AFM). Las siglas corresponden a su denominación en inglés: STM de *Scanning Tunneling Microscopy* y AFM de *Atomic Force Microscopy*.

Estas herramientas forman parte de un grupo más amplio de microscopios denominado "Microscopios de Barrido mediante Sonda Local" (SPM, del inglés *Scanning Probe Microscopy*). Todas estas herramientas se basan en el uso de una pequeña sonda, por lo general una punta muy afilada terminada en unos pocos átomos, que se aproxima a una muestra mediante una serie de sofisticados mecanismos para obtener información sobre sus propiedades a escala nanométrica.

### **¿Por qué la luz no sirve para observar el nanomundo?**

Es importante comenzar la actividad mencionando que los seres humanos vemos los objetos que nos rodean gracias a la luz que es emitida o reflejada por éstos. Dicha luz, formada por ondas electromagnéticas, cuando incide en nuestros ojos es recogida por unas células especializadas ubicadas en la retina produciendo impulsos eléctricos que llegan al cerebro. Estas células (denominadas conos y bastoncillos) son sensibles a un tipo de radiación electromagnética con una longitud de onda comprendida aproximadamente entre los 400 nm y los 700 nm. En función de la edad de los alumnos, es recomendable introducir o recordar en el aula el concepto de longitud de onda. El espectro electromagnético visible se pone de manifiesto en experimentos de descomposición de luz blanca por un prisma, donde aparecen las tonalidades del arco iris.

La resolución de un microscopio óptico (es decir la capacidad que tiene para poder distinguir dos objetos emisores cercanos) depende de la longitud de onda de la luz utilizada. Esto se conoce como criterio de resolución de Rayleigh. De esta forma, no se puede distinguir dos objetos que estén separados una distancia mucho menor que la longitud de onda de la luz utilizada para observarlos. Esto es lo que ocurre en el nanomundo: objetos con tamaño nanométrico no pueden observarse usando luz visible con longitudes de onda de varios cientos de nanómetros. Por tanto, los microscopios ópticos convencionales no sirven para observar el nanomundo. Una alternativa es utilizar otro tipo de onda (electromagnética o no) que posea una longitud de onda similar al tamaño de los objetos de los que deseamos obtener una imagen. Precisamente esto se logra en diversos microscopios electrónicos usando electrones acelerados mediante enormes potenciales, o en los sistema de difracción de rayos X, un tipo de radiación electromagnética con una longitud de onda muy pequeña (entre 0,01 y 10 nm). En esta ficha no se habla de estos instrumentos, sino de una segunda estrategia basada en el uso de pequeñas sondas que recorren la muestra para obtener información de ella.

### **La lectura Braille como ejemplo de interacción sonda-muestra.**

Los alumnos deben estar familiarizados con el método de lectura empleado por las personas invidentes: el método Braille, basado en el reconocimiento mediante el tacto de una serie de pequeños montículos con los que se representan diferentes letras y números. Usando las diapositivas proporcionadas como material complementario se

mostrarán el alfabeto Braille y la forma en la que una persona “lee” un texto escrito con dicho alfabeto. Una persona invidente usa sus dedos como un instrumento (una sonda) que se aproxima a la superficie y que, gracias a las células sensoriales del tacto, distingue las regiones abultadas y planas, reconociendo los símbolos grabados. En este punto el profesor debe recordar que es habitual el uso sondas en medicina, en geología o en investigación espacial. Las sondas son instrumentos muy variados que permiten estudiar (sondear) los fenómenos que ocurren en una zona del cuerpo humano, en un profundo estrato geológico o en una alejada región del espacio.

La lectura Braille permite introducir el concepto de muestra (la superficie con pequeños montículos), de sonda (los dedos) y de la imagen formada en nuestro cerebro (que en el caso de un instrumento aparece en una pantalla o en una impresión en papel). El profesor debe comentar que debe existir cierta correspondencia entre el tamaño de la sonda y el del objeto que se quiere estudiar. En el caso de los símbolos Braille es importante que los montículos sean de unos pocos milímetros para que las células del tacto puedan distinguirlos. Si los montículos fuesen demasiado pequeños o excesivamente grandes, la sonda (los dedos) serían incapaces de reconocer los mensajes escritos.

### **Explicación del funcionamiento del Microscopio de Efecto Túnel (STM) usando nuestras manos y materiales de bajo coste.**

En el caso del microscopio STM la sonda es una punta metálica acabada en unos pocos átomos que se acerca a la muestra hasta detectar una pequeña corriente (denominada corriente túnel, que aparece por el efecto túnel propio de la Mecánica Cuántica, que se puede mencionar sin entrar en detalles). Esta corriente túnel sólo aparece antes de que la punta y la superficie de la muestra contacten y es una magnitud muy dependiente de la distancia entre muestra y superficie: cuando la separación muestra-punta crece la corriente disminuye. Por tanto la corriente túnel se puede usar como un buen sensor de la distancia entre la punta (sonda) y la superficie (muestra).

Las superficies que se estudian con el STM, como todo lo que nos rodea, están formadas de átomos. En el caso de un material con estructura cristalina, los átomos de la superficie están ordenados formando patrones ordenados. Se puede usar como analogía los patrones que forman las naranjas o manzanas en algunos puestos de fruta de los mercados. Para estudiar la superficie se aplica una pequeña diferencia de potencial entre la punta y la muestra, se acerca la punta hacia la muestra hasta que aparece esta corriente túnel, y posteriormente la punta recorre la muestra detectando los cambios en la corriente debido a la rugosidad que presenta la superficie. Midiendo los cambios de la corriente es posible conocer donde están los átomos. Para explicar todo este proceso el profesor utilizará una varilla, un lapicero o un bolígrafo como punta del microscopio y una superficie ondulada (como la de una huevera). El profesor acercará la varilla perpendicularmente a la superficie ondulada, parará el movimiento a cierta distancia (en la que se mencionará que aparece la corriente túnel) y luego



moverá lateralmente la varilla para simular el barrido de la superficie. Evidentemente, el profesor también puede utilizar su dedo índice como sonda, en lugar de la varilla. Durante el recorrido (barrido) se debe explicar que la corriente es mayor cuando la varilla se encuentra sobre un átomo (montículo) que cuando se sitúa en los huecos formados entre átomos. Midiendo la corriente en cada sitio de la superficie durante el barrido es posible hacer un "mapa" de la corriente medida en el que aparecerán reflejadas zonas de mayor corriente (montículos, átomos) y zonas de menor corriente (depresiones, huecos entre átomos). Dicho mapa constituye la imagen de la superficie. Se debe recalcar que no es una imagen óptica sino un mapa de intensidades de corriente.



*Figura 1. Mediante el uso de una superficie ondulada y una varilla o bolígrafo se ilustra el funcionamiento de un Microscopio de Efecto Túnel (STM).*

A continuación se mostrarán los esquemas de un microscopio STM y algunas imágenes experimentales usando la presentación preparada como material complementario. Se debe recalcar que el color de las imágenes está elegido por los investigadores, se trata de un falso color, ya que, como se dijo anteriormente, con la luz visible no se puede observar el nanomundo.

Para terminar es importante que los alumnos comprendan que uno de los secretos que hay detrás de los microscopios STM es la forma en la que se puede acercar una punta a una superficie a distancias inferiores a 1 nm, y moverse lateralmente, con gran precisión, unos pocos nanómetros. Para ilustrar la dificultad el profesor pedirá que los alumnos acerquen su dedo índice a las mesas y los sitúen a 1 cm de distancia. Luego pedirá que acerquen el dedo a 1 mm, evitando el contacto. A continuación pedirá que acerquen el dedo a una micra o un nanómetro. Los alumnos comprenderán que

acercarse a distancias nanométricas requiere dispositivos especiales. En el caso de las microscopías SPM se usan materiales piezoeléctricos que se pueden deformar (un poco, pero lo suficiente) mediante la aplicación de potenciales adecuados. La explicación sobre la estructura y propiedades de estos materiales queda lejos del objetivo de la ficha.

### **Explicación del funcionamiento del Microscopio de Fuerzas Atómicas (AFM)**

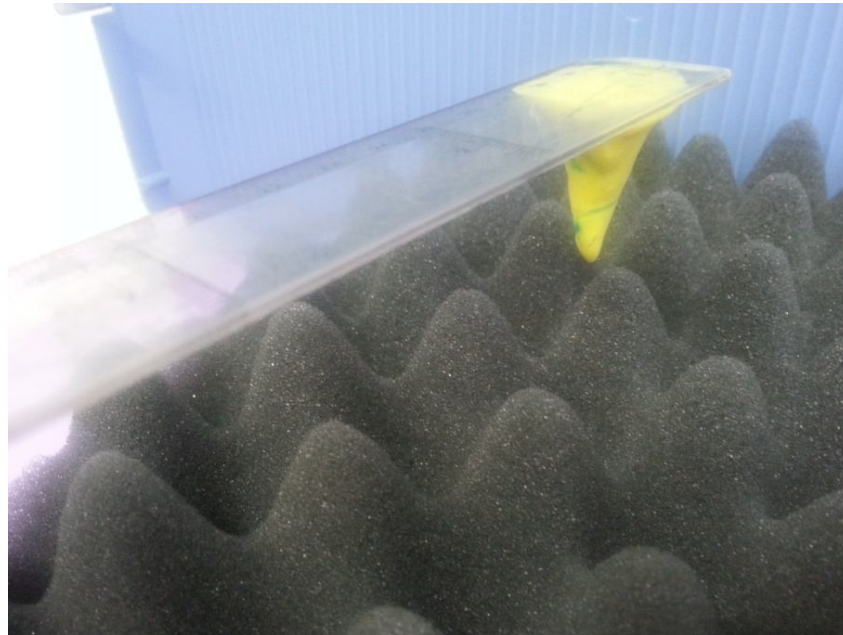
Una vez que se ha explicado el funcionamiento básico de un microscopio STM ahora es fácil introducir el funcionamiento del microscopio AFM. En este caso la punta (sonda) está ubicada en el extremo de una micropalanquita. Se mostrarán las imágenes proporcionadas en los materiales complementarios, mencionando que el dispositivo recuerda a un trampolín en cuyo extremo hay una persona suspendida de sus brazos. En el caso del AFM la punta se acerca a la superficie comenzando a sentir unas fuerzas de interacción que pueden tener diverso origen (electrostáticas, magnéticas, van der Waals, etc.) La fuerza que actúa sobre la punta produce la flexión de la micropalanca siendo posible medir dicha flexión mediante un haz láser que se refleja sobre la micropalanca. Conociendo la constante de fuerza de la micropalanca y aplicando la Ley de Hooke, es posible medir en cada punto de la superficie la fuerza que la superficie ejerce sobre la micropalanca. Para realizar estas operaciones es evidente que hay que acercar la palanquita a la superficie y moverla lateralmente, usando sistemas similares a los empleados en el STM (es decir, materiales piezoeléctricos).

Para explicar a los alumnos cómo funciona el AFM, el profesor usará una regla de plástico a la que habrá pegado en un extremo una pequeña cantidad de masilla o plastilina con forma puntiaguda (ver Figura 2). Situará el modelo de AFM sobre la estructura ondulada (huevera o similar) y flexionará la regla hacia la superficie cuando la punta se encuentre sobre una protuberancia (átomo) mientras que disminuirá la flexión cuando la punta se encuentre en el hueco formado entre varios montículos (átomos). Barriendo la superficie con la micropalanca se podría hacer un mapa de fuerzas con el que determinar las estructuras que aparecen en la superficie. Con ayuda de la presentación proporcionada como material complementario se mostrará el esquema de un AFM y algunas imágenes obtenidas mediante microscopios AFM.

### **Algunas consideraciones a tener en cuenta.**

Tanto los mapas de fuerza como los mapas de corriente tienen su analogía con los mapas geográficos en los que aparecen las curvas de nivel o los mapas meteorológicos donde se muestran curvas isobáricas. Es importante resaltar el uso del falso color para que en los alumnos no arraigue la idea de que el nanomundo es multicolor.

Otro aspecto que puede destacarse es que en el STM se necesita que la muestra y la punta sean conductoras de la electricidad, mientras que en el caso del AFM no hay limitaciones en cuanto al tipo de superficies que se pueden estudiar. Esto es realmente importante ya que el AFM ha permitido observar muestras biológicas "in vivo", sin que pierdan su funcionalidad. El AFM ha permitido ver células, membranas celulares, cadenas de ADN, virus, proteínas, etc. Ahora son herramientas clave en biología.



*Figura 2. Mediante el uso de una superficie ondulada, una regla de plástico y una pequeña cantidad de plastilina se ilustra el funcionamiento de un Microscopio de Fuerzas Atómicas (AFM).*

Se destacará que este tipo de herramientas son las que han permitido "ver" cómo es el nanomundo. Se recordará que el descubrimiento del STM se debe a dos científicos H. Rohrer y G. Binnig que trabajaban en el Laboratorio de IBM en Zurich (Suiza). Por su hallazgo recibieron en 1986 el Premio Nobel de Física.

### **Ver átomos y mover átomos.**

Para finalizar se mencionará que este tipo de microscopios no solo permiten observar superficies a nivel atómico sino que también se han empleado para mover átomos de una manera controlada. La misma punta que se utiliza para ver átomos también permite moverlos sobre una superficie. Para explicar esto, el profesor mencionará que la punta que se usa para observar átomos se puede posicionar sobre un átomo concreto. Mediante la aplicación de una pequeña descarga eléctrica se puede lograr su polarización de forma que es atraído por la punta. Es algo parecido a lo que sucede cuando una varilla cargada por frotamiento con una tela se acerca a un montoncillo de papalitos: se observa como son atraídos por la varilla. Una vez que el átomo se

encuentra en la punta podemos llevarlo a otro lugar de la superficie donde lo depositamos aplicando una descarga con polaridad opuesta. De esta forma podemos usar una punta de un microscopio STM como una "pinza" que es capaz de transportar átomos de un sitio a otro. El profesor mostrará algunas imágenes STM que ilustran esta increíble capacidad que ya poseen los seres humanos: la de mover átomos. Por cierto, la primera vez que movieron átomos con este tipo de herramientas fue en los laboratorios de IBM y la primera imagen formada por átomos es precisamente el logotipo de dicha empresa. Es importante que el profesor transmita la importancia de este hallazgo y cómo este tipo de descubrimientos han sido de suma importancia para la llegada de la nanociencia y la nanotecnología.

El profesor puede plantear preguntas a los alumnos del tipo: ¿Es posible construir sistemas complejos como una proteína o un virus usando esta técnica de mover átomo a átomo como si estuviésemos jugando con un LEGO®. La respuesta es que no por ahora, porque este tipo de manipulación atómica es muy lenta hoy por hoy, por lo que necesitarían tiempos muy largos para construir objetos con varios miles de átomos. Esta estrategia, la de construir objetos a partir del movimiento controlado e individual de átomos usando maquinaria muy sofisticada, ha sido propuesta por varios autores pero hoy por hoy pertenece al dominio de la ciencia ficción.

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

### **Fuerzas entre imanes planos para superficies metálicas.**

En este caso los alumnos deben adquirir imanes planos que suelen usarse para decorar las superficies de frigoríficos o neveras. Cuando dos imanes de este tipo se deslizan uno sobre el otro se producen fuerzas originadas por la existencia de dominios magnéticos lineales. Los alumnos deben describir las fuerzas que se observan en función de la orientación del desplazamiento de los imanes. Este sencillo ejercicio muestra que en ocasiones un mapa de fuerzas puede no tener correlación con la topografía de la superficie (lisa en este caso).

### **Nuestros dedos: una sonda táctil.**

Los alumnos deben buscar en sus casas superficies con diferentes formas o en la que aparezcan materiales con distintas texturas. Por ejemplo, se pueden encontrar materiales que presenten sobre la misma superficie zonas lisas y otras rugosas. Una vez en clase, los alumnos, con los ojos vendados, y usando únicamente su dedo índice como sonda, deben realizar un barrido de la superficie. A partir de su tacto deberán plasmar en un dibujo sencillo, un esquema que muestre la forma, topología y propiedades de la superficie estudiada. El profesor debe relacionar los diversos elementos del proceso con los que aparecen en los microscopios STM o AFM. El profesor recordará que la resolución de los detalles que podemos distinguir con el

dedo tiene que ver con la separación de las células del tacto. Si la separación de estas células es grande no podremos distinguir detalles más pequeños que dicha separación. Las yemas de los dedos son los lugares de nuestro cuerpo donde más células del tacto hay. Otros lugares, como la espalda, tienen mucha menos sensibilidad al tacto y es difícil distinguir, cuando alguien nos toca la espalda, si lo hace con uno, dos o tres dedos.

## PRECAUCIONES Y SEGURIDAD

El desarrollo de esta actividad no conlleva riesgos.

## REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN

### Artículos

- J.A. Martín Gago, P.A. Serena, C. Briones y E. Casero, "Nanociencia y nanotecnología: entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro" (FECYT, 2008). Accesible en <http://www.oei.es/salactsi/udnano.pdf>
- J.A. Martín-Gago, ¿Se pueden 'ver' los átomos? De la entelequia a la realidad, Apuntes de Ciencia y Tecnología 6, 36 (2003). Disponible en [http://www.icmm.csic.es/esisna/?page\\_id=107](http://www.icmm.csic.es/esisna/?page_id=107)
- J.A. Arenas, "Contribuciones de la Física en la Historia de la Microscopía", Revista Universitaria Digital 6, 2005. Accesible en [http://www.revista.unam.mx/vol.6/num7/art70/jul\\_art70.pdf](http://www.revista.unam.mx/vol.6/num7/art70/jul_art70.pdf)

### Otros recursos

- <http://www.icmm.csic.es/divulgacion/posters/NANO-Microscopia%20Tunel.pdf>
- <http://www.canal.uned.es/mmobj/index/id/17133>
- <http://www.canal.uned.es/mmobj/index/id/18198>
- [http://researcher.watson.ibm.com/researcher/view\\_group.php?id=4245](http://researcher.watson.ibm.com/researcher/view_group.php?id=4245)
- Excelente película que muestra la capacidad alcanzada para manipular átomos: <http://www.research.ibm.com/articles/madewithatoms.shtml>

## MATERIALES COMPLEMENTARIOS

Se proporciona como material complementario un conjunto de diapositivas con las que apoyar las explicaciones del docente. El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina "Anexos - Ficha Didáctica – III.1 – MC.ppt".



# **NANOSCOPIAS: MICROSCOPIAS PARA HACER VISIBLE LO INVISIBLE**

S. Estradé, J. Mendoza, L. Yedra, G. Oncins, J. Díaz-Marcos \*

Centros Científicos y Tecnológicos de la Universidad de Barcelona (CCiTUB)

c/ Lluís Solé i Sabarís 1, 08028 Barcelona, España

\*Correo electrónico autor de contacto: [jdiaz@ccit.ub.edu](mailto:jdiaz@ccit.ub.edu)

## **FICHA III.2**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

Se pretende mostrar a los alumnos el interés de las nanoscopías, poniendo en evidencia cómo nos permiten controlar el tamaño y la estructura cristalina de los materiales nanoestructurados.

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- Mostrar el interés de las nanoscopías
- Mostrar el impacto de la relación superficie / volumen en las nanopartículas
- Desarrollar la intuición sobre el concepto de difracción
- Entender cuál es la escala del espaciado atómico en los cristales

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 14-18**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: MEDIO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 55 minutos**

### **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la naturaleza (Ed. Secundaria)

- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Geología (Bachillerato)
- Tecnología
- Electrotecnia
- Ciencias humanas y sociales

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deben tener unos conocimientos básicos de física y de geometría. A su vez, se recomienda tener alguna noción de Microscopía Óptica

## **MATERIALES**

- Calculadora
- 3 minas de lapicero
- Puntero láser

## **INTRODUCCIÓN**

En el campo de la nanotecnología se sintetizan materiales con un tamaño característico del orden de los 1-100 nm. Estos materiales son interesantes porque presentan propiedades que el mismo compuesto a mayor escala no presenta. Por ejemplo, efectos cuánticos, efectos que quedarían enmascarados por la estadística en sistemas mayores o propiedades relacionadas con la razón superficie volumen.

En efecto, la eficiencia de sensores o catalizadores depende de la superficie disponible. Para el mismo volumen de nanopartículas, cuanto más pequeñas sean estas nanopartículas más superficie disponible. Pero ¿cómo sabremos cuál es el tamaño de las nanopartículas si no podemos verlo?

Cuanto más acercamos un objeto al ojo mayor es el ángulo aparente, pero existe una distancia mínima, el punto próximo (25 cm), por debajo de la cual no se perciben nítidamente los objetos. En este punto la imagen llega a su máximo tamaño en la retina



y todavía la percibimos con nitidez. Para un ojo normal, un objeto situado en el punto próximo se ve bajo un ángulo aparente máximo. El cristalino es una lente convergente así que los rayos que pasen por el centro de la lente no se desviarán y los que pasen por la focal llegarán paralelos al eje óptico. Así, queda claro que si queremos observar objetos muy pequeños, el ojo no será capaz de hacerlo. En este sentido, se pueden utilizar microscopios ópticos o lupas. Si el objeto se sitúa en el foco de la lente, el ojo situado en cualquier posición detrás de la lupa ve la imagen sin acomodación. La imagen que produce la lupa se forma en el infinito, pero la imagen del sistema lupa + ojo se forma en la retina. El aumento lateral de la lupa vendrá dado por la distancia del punto próximo (como se ha dicho, unos 25cm) entre la focal de la lupa.

¿Podemos hacer esta focal infinitamente pequeña para tener un aumento infinitamente grande? ¿Qué limita la resolución de los microscopios ópticos? Justamente el hecho que trabajamos con fotones.

Recordemos el principio de Huygens: "Todos los puntos a lo largo de un frente de ondas actúan como emisores puntuales. Por lo tanto, cuando una onda se encuentra con una barrera con una pequeña apertura, todos los emisores se ven bloqueados excepto uno, y la luz que pasa por la apertura se comporta como un emisor puntual, de forma que la luz sigue en todas las direcciones, en vez de seguir recta a través de la apertura."

El principio de Huygens nos indica que si el objeto observado es menor que la longitud de onda de la luz utilizada, la luz difractará alrededor del objeto. Teniendo en cuenta la longitud de onda de la luz visible, las lupas resuelven hasta unos 600 nm.

Por lo tanto, si queremos observar objetos con un tamaño característico menor que estos 600 nm, y dados los recientes desarrollos en nanotecnología y ciencia de materiales, es evidente que sí, tendremos que buscar una radiación con una longitud de onda menor.

En este sentido, la física cuántica nos indica que todas las partículas se comportan también como ondas (y las ondas como partículas). Es la llamada dualidad onda-partícula. Los electrones, en particular, tendrán asociada una longitud de onda según la relación de De Broglie:

$$\lambda = h/p$$

Donde  $h$  es la constante de Planck ( $6.63 \times 10^{-34}$  J/s) y  $p$  es el momento lineal del electrón. Por lo tanto, la longitud de onda de los electrones dependerá de la diferencia de potencial con la que los aceleremos. En particular, si aceleramos el electrón con una

diferencia de potencial de 200 kV, su longitud de onda será tan pequeña como ¡2.5 pm! Esta es la base de la microscopía electrónica. Utilizar electrones acelerados en vez de fotones.

## DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

### Actividad 1: Superficie disponible.

Tenemos una esfera macroscópica de Si de 1 cm de diámetro. Si mantenemos el mismo volumen total, pero repartido en esferas de 10 nm de diámetro, ¿en qué factor habrá cambiado la superficie total disponible?

### Actividad 2: Difracción de electrones.

Sostendremos muy juntas 3 minas de lapicero. Esto nos permitirá generar 2 rendijas muy estrechas. Haremos pasar la luz del puntero láser en por las rendijas y la observaremos en una pared o una pantalla de proyección.

Veremos que cuando una de las rejillas se cubre, aparece un único punto luminoso correspondiente a la luz que proviene de la rendija abierta. Sin embargo, cuando las dos están abiertas se obtiene una figura de interferencias.

El patrón de interferencias se explica a partir de la interferencia de la luz que procede de las dos rendijas, debido a la naturaleza ondulatoria de la luz. Los puntos brillantes corresponderán a interferencias constructivas, y las zonas oscuras entre ellos, a interferencias destructivas (las ondas provenientes de cada rendija estarán en fase o en antifase (oposición de fase), respectivamente, al sumarse en el punto de observación). Este es el llamado experimento de las dos rendijas de Young.

- 1) Demostrar que la separación entre máximos,  $x$ , vendrá dada por

$$x = \lambda D/d$$

Donde  $\lambda$  es la longitud de onda del láser,  $D$  la longitud de cámara (distancia de las rendijas a la pantalla) y  $d$  la separación entre las rendijas.

- 2) Determinar la separación entre las minas de lapicero.

En los sólidos cristalinos, los átomos se ordenan en estructuras que se repiten en el espacio. Para cada dirección, los planos atómicos están separados una determinada

distancia característica. Los electrones que utilizamos para hacer imagen en el TEM también pueden ser difractados por estos planos, que actúan como rendijas de Young.

- 3) Si en una difracción de electrones acelerados a 200 keV vemos que los máximos están separados 2 cm entre sí, para una longitud de cámara de 2.5 m, ¿cuál será el espaciado de los planos atómicos que estamos observando?

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

¿Qué ocurre con la luz de un haz láser (el de un puntero, por ejemplo) cuando incide sobre la superficie de un CD o de un DVD? ¿Qué figuras forma la luz que es re-emitida por la superficie? ¿Por qué? Con lo que se ha aprendido en esta actividad se puede correlacionar los patrones de interferencia observados con el tamaño típico de los bits en la cada uno de esos medios de almacenamiento de datos.

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

El puntero láser debe ser manejado con cautela y el haz láser nunca debe ser dirigido hacia los ojos de otras personas.

## **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

Ninguna

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Esta ficha no incluye materiales complementarios.



# LA IMPORTANCIA DE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN LAS NANOCIENCIAS

M.E. Aparicio<sup>(1,\*)</sup>, M.T. Romero<sup>(2)</sup>, N. Takeuchi<sup>(1)</sup>

(1) Depto. de Nanoestructuras, Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

(2) Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Universidad Autónoma de Coahuila.

\*Correo electrónico autor de contacto: [eloisa@cbyn.unam.mx](mailto:eloisa@cbyn.unam.mx)

## FICHA III.3

### RESUMEN DE LA ACTIVIDAD

La difracción es un fenómeno que se observa en los diferentes tipos de ondas, como las electromagnéticas, y esto ha dado lugar a aplicaciones tales como la difracción de rayos X (DRX), que es una técnica muy utilizada en nanociencia y nanotecnología. La DRX ayuda a conocer las fases cristalinas que constituyen un material determinado, son esenciales para hacer la caracterización estructural y saber la composición de los materiales; mismos que han sido preparados con diferentes métodos. En esta ficha los alumnos van a realizar un experimento con material fácil de conseguir. Con un disco compacto van a elaborar una rejilla de difracción; para que se familiaricen con la difracción de la luz. También van a poder conocer diferentes patrones de difracción de rayos X, tanto de materiales cristalinos como amorfos.

### OBJETIVOS DIDÁCTICOS

- Entender el concepto de difracción de rayos X (DRX)
- Conocer las características cristalográficas de la sal y el azúcar
- Aprender la importancia de la DRX, en el análisis de muestras en las nanociencias

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 12-16 años**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: MEDIO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 1 hora**

## **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Biología (Bachillerato)
- Geología (Bachillerato)
- Tecnología

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deben tener conocimiento de las ondas electromagnéticas, para diferenciar entre una onda de radio, radar, luz o rayos X, entre otros.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

El comportamiento de las ondas en el agua, observar cómo se desplazan las ondas cuando arrojas una roca en un estanque, alberca o lago. Estas actividades se describen en la sección dedicada a la propuesta de actividades fuera del aula.

## **MATERIALES**

- Un disco compacto, no tiene que ser nuevo (puedes reciclar)
- Un apuntador láser
- Una navaja o cortador

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

### **Introducción**

El/la docente debe comentar que existen muchos eventos en la naturaleza y en nuestra vida cotidiana que pueden ser explicados mediante ondas: el sonido (es una onda en la que las partículas de aire son perturbadas y de esta manera se transmite el sonido), las telecomunicaciones (todos los dispositivos móviles y los satélites emiten y reciben ondas electromagnéticas con información codificada, equipo especializado en medicina (muchos de estos aparatos miden radiaciones electromagnéticas). En la Figura 1 se muestra el espectro electromagnético.

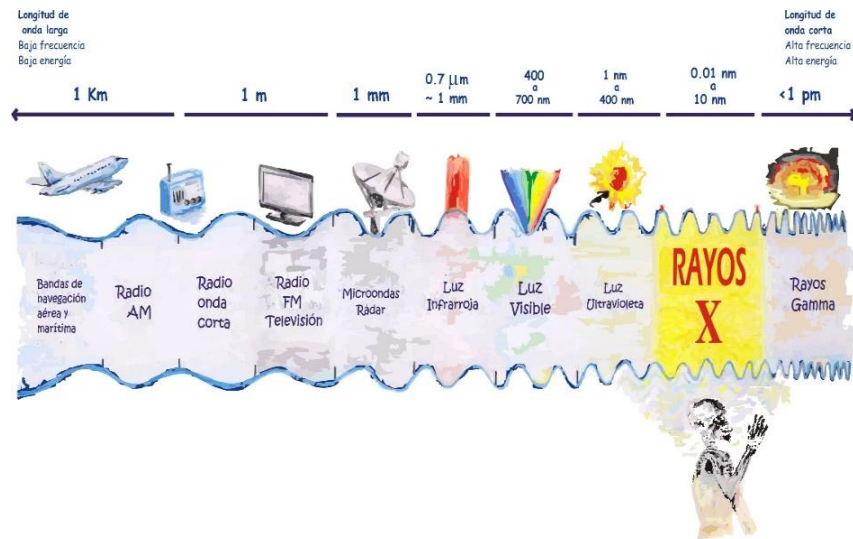


Figura 1. Espectro electromagnético (Diseño: R. Aparicio-Ramírez).

El/la docente explicará que cuando se analiza el fenómeno ondulatorio con detalle, observamos que existen otros aspectos involucrados con las ondas como es el caso de la interferencia. La interferencia es un fenómeno en el que dos o más ondas se superponen para formar una onda resultante de mayor o menor amplitud. Se define la interferencia constructiva cuando la onda resultante tiene mayor amplitud que las ondas iniciales y existe interferencia destructiva cuando la onda resultante tiene menor amplitud que las ondas iniciales. La interferencia puede ser observada en los diferentes tipos de ondas como en el sonido, ondas electromagnéticas, ondas en el agua, etc. La Figura 2 muestra un esquema del experimento de la doble rendija en el que se muestran los efectos de interferencia.

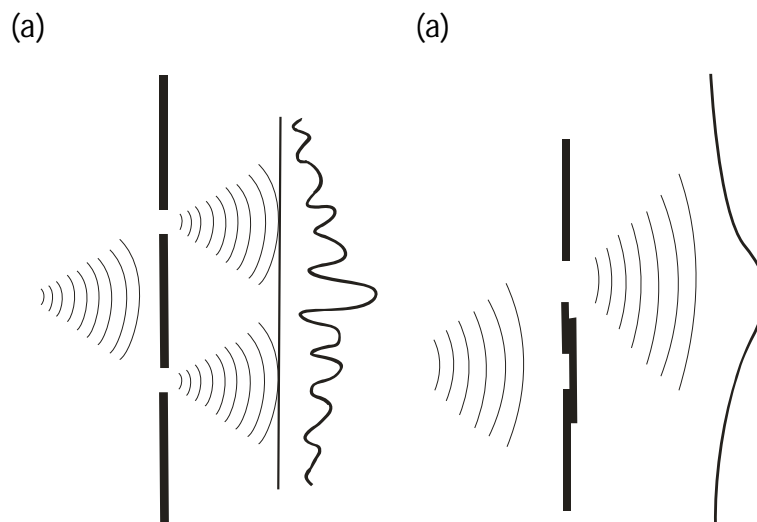


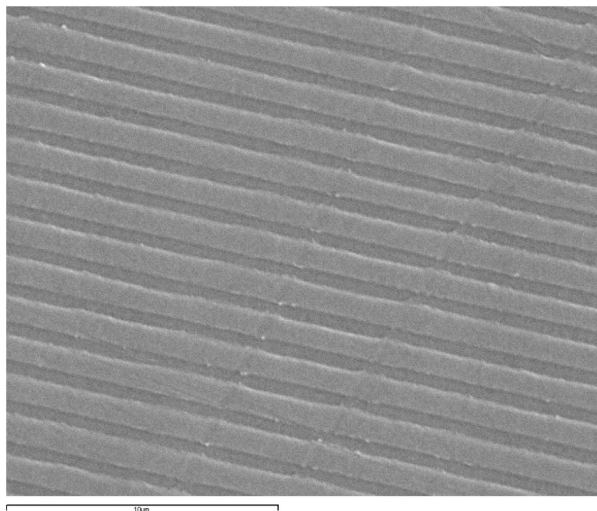
Figura 2. Esquema de interferencia producido por una doble rendija (a) y ausencia de interferencias en el caso de una única rendija (b).

Un ejemplo de interferencia constructiva de ondas es el sonido que produce un coro de estudiantes, el sonido del coro tiene mayor volumen si lo comparamos con el sonido que emite un solo estudiante, entonces decimos que las ondas de sonido emitidas por cada uno de los estudiantes se superponen y forman una onda resultante que es el sonido de todo el coro. Otro ejemplo de interferencia de ondas lo podemos observar en ondas generadas en un recipiente con agua (esta experiencia se propone al final de esta ficha, en la sección de actividades para desarrollar fuera del aula o en casa).

Además de los fenómenos de interferencia las ondas muestran también el fenómeno de la difracción. En este caso una onda es desviada por algún obstáculo, o bien cuando pasa a través de un orificio. Tanto los fenómenos de interferencia como los de difracción pueden ser observados por los alumnos mediante sencillas experiencias con agua que pueden ser llevadas a cabo fuera del aula.

### **Primera parte.**

Los discos compactos tienen una película de policarbonato donde está impresa una pista en espiral, las líneas que forman la espiral tienen una disposición periódica, y sirven como rejilla para realizar el experimento de difracción (ver Figura 3).



*Figura 3. Superficie de un disco compacto observada con un microscopio electrónico de barrido.*

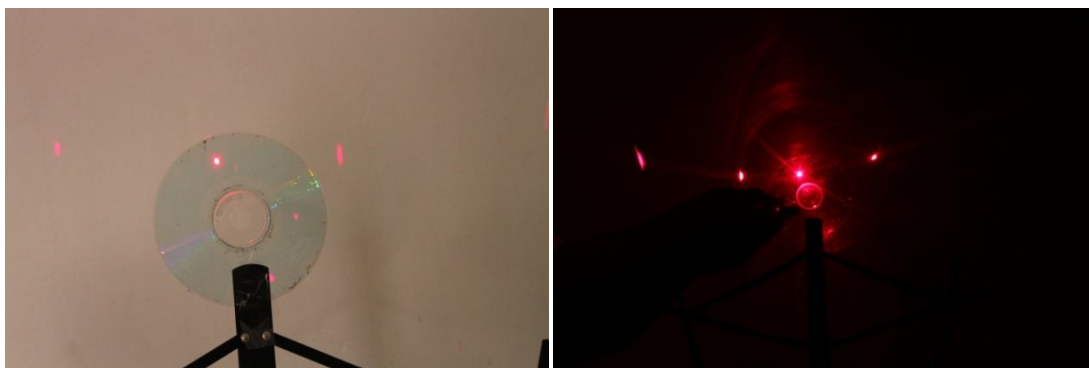
Para hacer el experimento, debes quitarle al disco la película de la carátula ya que no permite el paso de la luz; al quitarla queda libre la pista. Para retirar la película de la carátula; debes marcar una línea con la navaja, colocar encima cinta adhesiva, y al retirar esta última se desprende la película. Repite el procedimiento hasta que la superficie del CD quede libre de toda la película. Ver Figura 4.



Una vez desprendida la película se coloca el disco sobre una base, pégala en el borde superior de un tripié o un soporte de madera, a 40 centímetros de la pared y haz pasar la luz del láser a través del CD. En la figura 5 se observa el montaje y el resultado de la experiencia. Observa lo que pasa. ¿Cuál es el origen de los picos observados (máximos de intensidad luminosa)? El/la docente relacionará el resultado con el fenómeno de interferencia presentado con anterioridad.



*Figura 4. Como retirar la película de la carátula.*



*Figura 5. Patrón de difracción del disco compacto.*

### **Segunda parte.**

Esta segunda parte se puede llevar a cabo una vez que los estudiantes hayan realizado algunas de las experiencias con ondas en agua que se describen en la sección dedicada a propuestas de trabajo para desarrollar fuera del aula. La difracción de rayos X (DRX) es un fenómeno físico que se produce al interactuar un haz de rayos X (de longitud de onda determinada) con un material cristalino. Se debe recordar que un material cristalino es aquel que contiene átomos con un arreglo periódico en tres dimensiones (ver Figura 6).



Figura 6. Mineral de halita (NaCl) (izquierda) y su estructura cristalina (derecha).

Para analizar una muestra por DRX, es necesario molerla en un mortero hasta tener polvo, que se coloca en un portamuestras. El análisis DRX se realiza en un aparato que genera rayos X y tiene un diseño para hacer difracción (llamado difractómetro). Este equipo se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Difractómetro de rayos X.

En el caso de necesitar mucha intensidad en los rayos X porque se desea estudiar un sistema con una estructura cristalina muy complicada, se acude a una fuente de rayos X de gran intensidad. Ese tipo de fuentes se denomina sincrotrón y son unas máquinas de dimensiones colosales. En la Figura 8 se muestra una imagen de la instalación sincrotrón existente en Caminas (Brasil).



*Figura 8. Laboratorio Brasileño de Luz Sincrotrón (Campinas, Brasil)*

Usando la presentación Power Point se mostrarán diferentes ejemplos de materiales que han sido analizados en equipos de difracción de rayos X. En primer lugar se presenta una gráfica que corresponde a la sal común, también conocida como sal de mesa o halita (cuando es un mineral). Desde el punto de vista cristalográfico pertenece al sistema cúbico, por lo tanto, la estructura interna y externa así lo refleja.

Lo que se observa al analizar una muestra de sal en polvo, por difracción de rayos X; (DRX) es una gráfica con picos de diferentes intensidades (Figura 7). Ahora este patrón de difracción se puede entender si hacemos la siguiente analogía: consideremos que las ondas de rayos X son análogas a las ondas generadas en el agua. En el caso de los RX, los átomos que forman la estructura cristalina de la sal actúan como obstáculo para las ondas de RX. Cuando los RX inciden sobre los átomos de la muestras son difractados por cada uno de los átomos y se generan nuevas ondas las cuales interfieren. La interferencia de estas ondas puede ser constructiva o destructiva. La interferencia constructiva generará los picos en el difractograma de RX. Es importante resaltar, que el orden de los átomos en el material juega un papel importante en la aparición de picos.

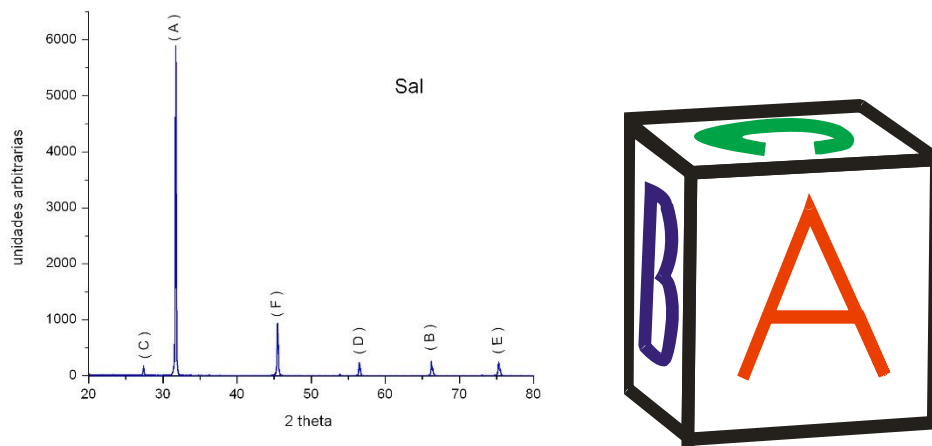


Figura 9. Izquierda: Difractograma de la halita (sal común). Derecha: Cubo que muestra la identificación de los picos del difractograma.

Las posiciones e intensidades de los picos van a variar de acuerdo al sistema cristalino que tienen, así por ejemplo, la sal pertenece al sistema cúbico. En la Figura 9 se observa que cada pico tiene, entre paréntesis, una letra asignada. Si a un cubo le colocamos una letra a cada cara, como muestra la figura anterior, al hacer la relación con la gráfica se observa que un pico está etiquetado con una letra de acuerdo a la cara que estemos viendo.

A continuación se muestra el patrón de difracción del azúcar, que es algo más complejo (Figura 10). La gran cantidad de picos con diferentes intensidades muestra que la molécula de azúcar es mucho más compleja que la estructura cristalina de la halita.

Es importante destacar que los difractogramas poseen una nítida estructura de picos cuando el material es cristalino. En el caso de que los materiales sean amorfos la estructura de picos desaparece ya que las interferencias son destructivas. El/la docente mostrará a continuación el patrón de difracción del  $\text{SiO}_2$  amorfo, es decir, un material que no es periódico (Figura 11). ¿Qué diferencias se ven en relación con la halita o el azúcar?

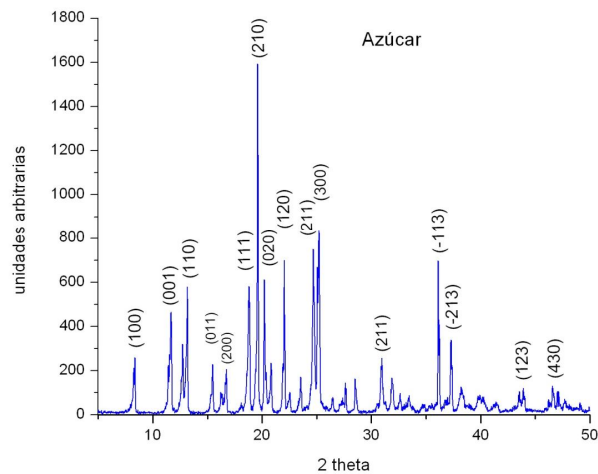


Figura 10. Difractograma del azúcar.

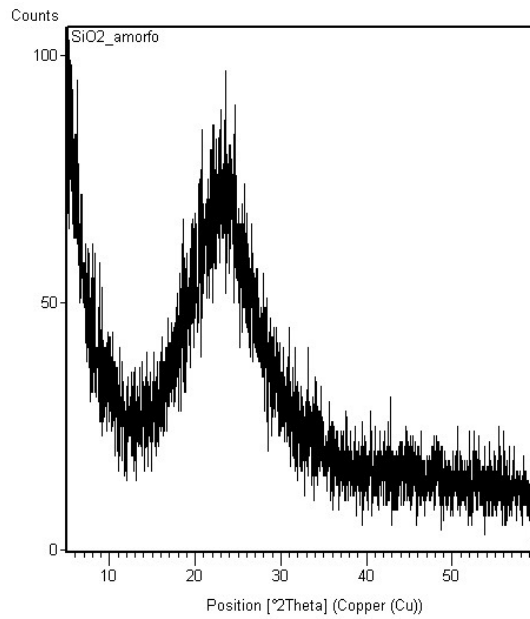
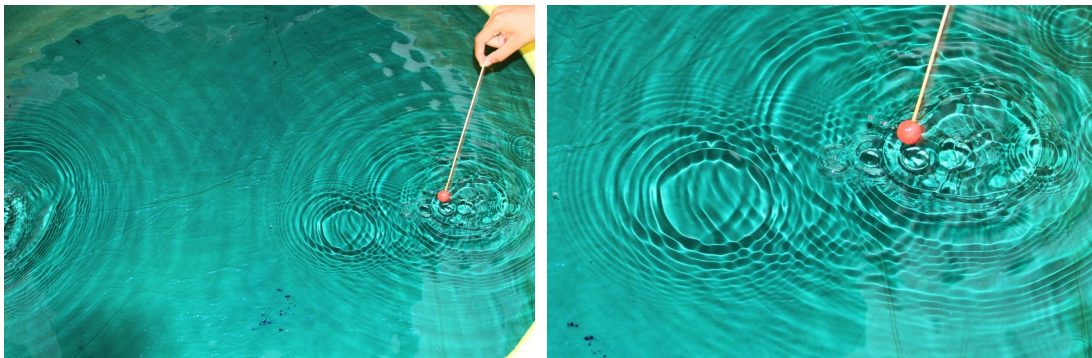


Figura 11. Difractograma del vidrio ( $\text{SiO}_2$ )

Para concluir, el/la docente mostrará otros patrones de difracción que se encuentran en el archivo de material complementario. Por ejemplo, el del silicio. ¿Es un material cristalino o amorfo? ¿Se parece más al de la sal o al del azúcar? Observando los otros patrones de difracción el/la alumno/a debe ser capaz de distinguir si el materia es cristalino o amorfo.

## PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD

El/la docente planteará a los estudiantes una serie de sencillas experiencias en las que pueden generar sus propias ondas. Para ello colocarán agua en un recipiente y producirán perturbaciones en ella con ayuda de una varilla. También se puede realizar la experiencia en un estanque o alberca. Las imágenes que los alumnos deben obtener son similares a las que se muestran en la Figura 12, donde observa como los frentes de onda en la superficie del agua (círculos) interfieren, y existen zonas en donde los círculos se combinan perdiendo su forma dando origen a patrones de interferencia.



*Figura 12. Frentes de ondas y fenómenos de interferencia formados en la superficie del agua.*

Para observar el fenómeno de difracción los alumnos pueden plantear un sencillo montaje como el que se muestra en la siguiente imagen, en el que una onda generada con la varilla en un recipiente con agua pasa por un orificio formado por dos tablas. Al pasar la onda por la rejilla experimental el fenómeno de difracción. El comportamiento de la onda antes de atravesar la rejilla es diferente tras su paso entre las tablas. La onda fue difractada (desviada) por los bordes del orificio dando lugar a este patrón.



*Figura 13. Fenómeno de difracción observado en una experiencia con ondas en agua.*

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

El manejo de la navaja o cortador debe hacerse con cuidado. Es importante no dirigir el haz láser hacia la cara o los ojos.

## **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- “Utilidad de la difracción de rayos X en las nanociencias”, Martha Eloísa Aparicio Ceja y Gregorio Guadalupe Carbajal Arizaga, Mundo Nano, Vol. 3, Núm. 2, Pág. 62 (2010). Accesible en <http://www.mundonano.unam.mx/pdfs/mundonano5.pdf>

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Se proporciona como material complementario un conjunto de diapositivas (formato Power Point) con las que apoyar las explicaciones del docente. El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina “Anexos - Ficha Didáctica – III.3 – MC.ppt”.





# LA NANOTECNOLOGÍA DE NUESTROS ANTEPASADOS

A. Asenjo Barahona, J.A. Martín Gago, P.A. Serena\*

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM)

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

c/ Sor Juana Inés de la Cruz 3, Campus de Cantoblanco, 28049-Madrid, España.

\*Correo electrónico autor de contacto: [pedro.serena@icmm.csic.es](mailto:pedro.serena@icmm.csic.es)

## FICHA IV.1

### RESUMEN DE LA ACTIVIDAD

Esta ficha presenta, de manera amena, un breve recorrido por una serie de materiales, desarrollados por el hombre en diferentes momentos históricos, que presentan sorprendentes propiedades gracias a la presencia de algún tipo de nanomaterial en su composición. Estos nanomateriales se sintetizaron por azar, a base de ensayos, con aciertos y errores, y sus propiedades eran inexplicables para los artesanos que los fabricaron. Esta actividad permite comparar las diferentes formas de trabajo de artesanos y científicos.

### OBJETIVOS DIDÁCTICOS

- Los alumnos deberán relacionar las propiedades de los materiales con las de sus componentes nanométricos.
- Mostrar que en algunas ocasiones los seres humanos han efectuado descubrimientos por azar de nuevos materiales con prestaciones mejoradas.
- Los alumnos deberán establecer las diferencias entre la forma de trabajo de los artesanos (vidrieros, maestros de forja, etc.) y la de los científicos.
- Los alumnos deberán contextualizar el momento histórico en el que cada nanomaterial que se presenta fue descubierto.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 12-18**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 45 minutos**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: BAJO**

## **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Matemáticas
- Tecnología
- Ciencias Humanas y Sociales
- Historia
- Historia del Arte
- Educación artística

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

No se requieren unos conocimientos científicos previos demasiado específicos. Sería interesante que los alumnos ubiquen temporalmente diferentes periodos históricos: Imperio Romano, Civilización Maya, Edad Media, Expansión del Islam, Revolución Industrial, etc.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Los alumnos deben poseer conocimientos previos adquiridos en otras fichas didácticas, en especial las relacionadas con las nanopartículas, nanotubos de carbono y nanomateriales.

## **MATERIALES**

- Materiales complementarios (ver última sección de esta ficha)

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

Esta actividad propone un breve recorrido a través de diversas épocas para demostrar que nuestros antepasados eran capaces de fabricar y manejar artesanalmente ciertos nanomateriales. Las actividades se apoyan fundamentalmente en la presentación proporcionada como material complementario.

Se comienza la actividad mencionando que es posible hablar de varios tipos de nanotecnología. Por un lado hay una nanotecnología que se encuentra vinculada a la

naturaleza, como los diferentes orgánulos del interior de una célula que funcionan como “nanomáquinas”, las nanoestructuras que algunas especies vegetales usan para repeler el agua o las que se encuentran en las alas de algunas mariposas para producir ciertos tonos metalizados en su coloración. Por otro lado, tenemos la nanotecnología que el hombre está comenzando a definir en laboratorios y que se va trasladando a las industrias poco a poco. Además existe una nanotecnología que nuestros antepasados fueron capaces de desarrollar por azar, sin comprender lo que estaban haciendo, basándose en la experiencia acumulada a través de ensayos, con éxitos y fracasos. Después de esta breve introducción se pasará a enumerar, con apoyo visual del material complementario, diferentes ejemplos de esta “nanotecnología accidental” o “nanotecnología inconsciente”.

### **La copa de Lycurgus**

El profesor debe comentar que se trata de uno de los ejemplos más notables de la “nanotecnología accidental”. La copa de Lycurgus fue fabricada en Roma probablemente en el siglo IV D.C. y se conserva en el Museo Británico en Londres (Reino Unido). La copa está decorada con varias escenas que del mito del rey Lycurgus, de ahí su nombre. Esta copa presenta distintas coloraciones cuando se ilumina desde el exterior o su interior. Bajo la luz diurna la copa muestra tonos verdosos (refleja la luz de esta parte del espectro luminoso), pero si se coloca una pequeña fuente de luz en el interior, la copa muestra llamativos tonos rojos. Este cambio es debido a la presencia de nanopartículas formadas con una aleación de oro y plata, y con un tamaño que varía entre los 15 y los 100 nm. Estas nanopartículas reflejan una parte del espectro de la luz visible y son responsables de la diferente coloración que se observa en función de si vemos la luz reflejada (verdosa) o transmitida (rojiza). Las nanopartículas se encuentran en el vidrio debido a la adición de pequeñas cantidades de oro y plata durante el proceso de fundido del vidrio a alta temperatura. Mediante el rudimentario control de la temperatura y probando diferentes cantidades de oro y plata los artesanos conseguían un vidrio con una interesantes propiedades ópticas. Ahora, una vez que sabemos el origen de estos cambios en la coloración es posible fabricar materiales con propiedades “ópticas” a medida. Al finalizar la exposición se puede plantear una breve discusión sobre la complementariedad de los colores transmitidos y reflejados en las dos situaciones (iluminación externa o interna). Es interesante fomentar el debate en clase sobre las posibles aplicaciones que pueden tener este tipo de materiales (dispositivos capaces de filtra ciertos colores, materiales para decoración, ventanas inteligentes que permiten el paso de cierta parte del espectro de la radiación solar, etc.)

### **Vidrio coloreado en las vidrieras medievales**

En este caso, el profesor debe mencionar que se trata de materiales con propiedades similares al de la copa de Lycurgus. Seguramente los secretos de los vidrieros romanos se conservaron y llegaron a la Edad Media, cientos de años después, y se emplearon en proporcionar colores vivos a las impresionantes vidrieras que decoran muchos templos

medievales, especialmente del periodo gótico. El color rojo rubí se obtenía añadiendo oro al vidrio, mientras que tonos amarillos se obtenían añadiendo plata. Además era preciso controlar la temperatura de todo el proceso. Nuevamente los maestros vidrieros eran capaces de obtener, sin saberlo, nanopartículas en el seno de una matriz de vidrio. Mediante el control del tamaño de las nanopartículas era posible controlar el color reflejado/transmitido por el vidrio. El profesor debe mencionar que es posible combinar diferentes nanopartículas para obtener diferentes coloraciones. En una de las diapositivas del material complementario se muestra una tabla con los diferentes tipos de nanopartículas y los colores que producen. El profesor debe recordar que esta es una de las características esenciales de la nanotecnología: mediante el control del tamaño y forma en la nanoescala tener control de alguna propiedad (mecánica, óptica, eléctrica, etc.).

### **El lustre de las cerámicas**

En primer lugar el profesor debe introducir el concepto de "lustre". En el mundo de la cerámica se denomina "lustre" a un método de decoración en el que los colores se forman a partir de metales como cobre, oro, estaño o plata. Inicialmente estos metales se pintan sobre una superficie esmaltada cocida con anterioridad, tras lo cual se efectúa un segundo recocido, aparecen brillantes colores metálicos. Como ocurría con los ejemplos anteriores, los colores metálicos son producidos por nanopartículas metálicas. Se debe mencionar que la técnica del lustre se inició en Oriente Medio, se trasladó a España con la invasión árabe y de ahí pasó a otros países europeos. Ejemplos de esta técnica se encuentran en objetos de los siglos IX-XI encontrados en Samarra y Basora (Irak), en espectaculares platos del siglo XII hallados en Manises y Paterna (España), y en las elaboradas decoraciones de piezas fabricadas en el siglo XVI en Deruta y Gubbio (Italia). Nuevamente se puede mencionar que los procedimientos para dar lustre a una cerámica se mantenían en secreto, transmitiéndose de padres a hijos, dado que las cerámicas con colores metálicos eran artículos de lujo. Se puede mencionar que hoy en día las empresas protegen sus descubrimientos de diversas maneras, siendo la más habitual el registro de patentes.

### **Las espadas de Damasco**

A continuación el profesor mostrará un ejemplo sobre los cambios en propiedades mecánicas inducidos por la introducción de pequeñas cantidades de nanomateriales. Como ejemplo de la "nanotecnología accidental" se mostrará la fabricación de las legendarias espadas de Damasco. Estas espadas, mencionadas en numerosas obras de la literatura árabe, eran reconocidas desde la Edad Media por su gran tenacidad y su filo prácticamente indestructible. Ya se sabía entonces que estas espadas se fabricaban usando antiguos métodos procedentes de la India, en los que el metal se sumergía en carbón vegetal en alguna fase del proceso de forja. En este momento el profesor pueda preguntar a los estudiantes sobre el origen de la dureza de la espada, dando como pista que el contacto del acero con el carbón vegetal podría producir un material muy resistente basado en el carbono. La dureza del acero de las espadas de Damasco

proviene de la presencia de nanotubos de carbono, tal y como se ha sabido hace poco tiempo gracias a imágenes de microscopía electrónica de transmisión. Pequeñas cantidades de nanotubos de carbono confieren una considerable mejora en las propiedades del material. Esta es otra de las características de la nanotecnología: pequeñas cantidades de nanomateriales pueden bastar para inducir cambios apreciables en materiales convencionales. El profesor puede mencionar en este punto que pequeñas cantidades de nanotubos de carbono se usan para aumentar la dureza de polímeros como ocurre en raquetas de tenis, piezas para la carrocería de vehículos y aeronaves.

### **El color azul maya**

El profesor finalizará el paseo por la “nanoarqueología” con un último ejemplo que se encuentra en las impresionantes ruinas de los templos mayas en América. Se trata de los brillantes pigmentos azules que aparecen en hermosos murales o en cerámicas, y que en algunos casos han sobrevivido durante doce siglos. Este color, conocido como “azul maya”, se obtenía a partir del índigo o añil, un colorante orgánico natural. Es sorprendente que este color, de origen orgánico, haya permanecido inalterado durante tantos siglos ya que este tipo de sustancias se deterioran bastante con el transcurso del tiempo. Un análisis de los pigmentos ha mostrado que las moléculas de índigo se encontraban atrapadas en la estructura porosa de diferentes arcillas entre las que destaca una, denominada paligorskita, muy común en algunas regiones de América Central. La paligorskita es un material con poros de tamaño nanométrico. Es esta estructura porosa la que proporciona estabilidad y protección a las moléculas de colorante. Es decir, las moléculas se encuentran “nanoencapsuladas” en los canales de la paligorskita, gracias al proceso de lavado del índigo en las aguas arcillosas ricas en dicha arcilla. Los mayas elaboraron accidentalmente estos pigmentos, que pueden considerarse como uno de los primeros materiales “nanohíbridos”.

Para finalizar el profesor resumirá este paseo por la ciencia y por la historia, describiendo que nuestros antepasados, sin saberlo, eran ya unos buenos nanotecnólogos. Sin embargo lograron fabricar nuevos nanomateriales sin conocer su estructura, a base del sistema prueba-error. Por el contrario, los nanotecnólogos actuales conocen bien los fundamentos de la materia, y éstos son usados para encontrar de forma sistemática nanomateriales con nuevas propiedades.

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

### **El origen de la fotografía**

Muy recientemente se ha demostrado que los primeros procedimientos fotográficos desarrollados por Louis Daguerre se basaban en el control de nanopartículas. Los "daguerrotipos" fueron presentados oficialmente en 1839 y consistían en una placa recubierta de ioduro de plata, sustancia sensible a la luz. Por efecto de la iluminación, el ioduro se convertía en plata en las zonas expuestas a la iluminación mientras que permanecía inalterado en las no expuestas. Las minúsculas estructuras de ioduro de plata se comportaban como los actuales "pixels" que encontramos en las fotografías tomadas con las modernas cámaras digitales. Lo cierto es que esas minúsculas estructuras eran en realidad nanopartículas. Evidentemente en aquel momento no existían los actuales microscopios electrónicos que permiten verlas. Lo cierto es que las imágenes obtenidas en los daguerrotipos alcanzaban un nivel de detalle que resulta difícil de superar incluso hoy en día. El profesor propondrá una búsqueda en internet (en el aula o en casa) para identificar el origen de la fotografía, la forma en la que funcionaban las cámaras de Daguerre, y la estructura de un daguerrotipo. Se puede plantear como ejercicio de clase el cálculo aproximado del tamaño actual de un pixel de una cámara fotográfica insertada en un móvil y su comparación con las nanopartículas de plata de los daguerrotipos.

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

El desarrollo de esta actividad no conlleva riesgos.

## **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- J.A. Martín Gago, P.A. Serena, C. Briones y E. Casero "Nanociencia y nanotecnología: entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro" (FECYT, 2008).  
Accesible en <http://www.oei.es/salactsi/udnano.pdf>
- J.M. Oliva Montero, "Copa de Licurgo: cuando ciencia y arte se dan la mano para hacer historia", MoleQla 11 (2013). Accesible en [http://www.upo.es/moleqla/export/sites/moleqla/Numero\\_11.pdf](http://www.upo.es/moleqla/export/sites/moleqla/Numero_11.pdf)
- J.A. Barrera Otalora, "La Espada de Damasco y La Katana Japonesa: Importantes íconos de la metalurgia", Metal Actual 18, 46 (2010).  
Accesible en [http://www.metalactual.com/revista/18/historia\\_katana.pdf](http://www.metalactual.com/revista/18/historia_katana.pdf)
- A. Doménech-Carbó, "El azul maya, un antecesor de los materiales híbridos", Materiales Avanzados 15, 9 (2010).  
Accesible en <http://www.iim.unam.mx/revista/pdf/numero15.pdf>
- M. Elices-Calafat, "Nanomateriales", Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fís. Nat. (Esp), Vol. 97, N.º 2, pp 271-287 (2003).  
Accesible en <http://www.rac.es/ficheros/doc/00429.pdf>

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Se proporciona un material complementario consistente en un conjunto de diapositivas que permitirán apoyar las explicaciones del docente. El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina “Anexos - Ficha Didáctica – IV.1 – MC.ppt”.





# **NANOPARTÍCULAS Y SU USO PARA CONSTRUIR UN NANOSENSOR**

N. Sequera<sup>(1)</sup>, F. Avellaneda<sup>(1)</sup>, F. González<sup>(2)</sup>, E. González<sup>(1,2,\*)</sup>

(1) Instituto Geofísico, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana

(2) Centro de Ciencia y Tecnología Nanoescalar (Nanocitec)

Cr 7 No 42-27, 110231-Bogotá, Colombia.

\*Correo electrónico autor de contacto: [egonzale@javeriana.edu.co](mailto:egonzale@javeriana.edu.co)

## **FICHA IV.2**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

En esta ficha se expone una interesante experiencia orientada a la síntesis de nanopartículas de oro y al diseño y construcción de un nanosensor colorimétrico simple, que permite registrar visualmente procesos de interacción que ocurren entre nanopartículas dispersas en un medio acuoso. Estos procesos se manifiestan a través de cambios de color en función del tamaño de agregados de nanopartículas producidos por pérdida en la estabilidad del sistema. A través de esta actividad se introducen conceptos de reducción y oxidación en los procesos de formación de nanoestructuras coloidales, estabilidad coloidal, el significado del color en la nanoescala y el significado de un nanosensor y sus aplicaciones.

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

Al finalizar la actividad, los alumnos estarán en capacidad de:

- Comprender los procesos de reducción-oxidación y los mecanismos de formación de nanopartículas a partir del auto-ensamblado de átomos bajo condiciones controladas.
- Identificar la importancia y el papel que juega la superficie en nanopartículas para programar comportamientos y controlar sus propiedades desde la nanoescala.
- Comprender la función de la forma y tamaño en la percepción que tenemos del color desde la nanoescala.

- Realizar un sistema simple con uso de nanopartículas para tareas de sensado que permita comprender los fundamentos y componentes de un sensor colorimétrico.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 14-18**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 1 hora**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: MEDIO**

**ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Tecnología

**CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deben poseer conocimientos básicos de química y física, específicamente se requieren conceptos relacionados con fuerzas eléctricas atractivas y repulsivas, coloides, solubilidad, reacciones de oxidación y reducción, cálculos de concentración de una solución.

**OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Es recomendable desarrollar previamente las actividades relacionadas con las Fichas Didácticas de los Bloques I y II.

**MATERIALES**

- Ácido cloroáurico
- Extracto de limón
- Filtro de papel
- Agua destilada
- Sal de cocina
- Limpiador a base de cloro

## DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

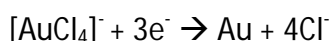
La actividad consta de dos partes: (i) síntesis de nanopartículas de oro y (ii) desarrollo de un sensor para determinar presencia de una sustancia química en agua. El soporte (diapositivas complementarias de la ficha didáctica – IV.2 – MC.ppt) debe ser usado en paralelo para el desarrollo conceptual y experimental que propone esta actividad.

### Primera parte: Síntesis de nanopartículas de oro (Duración 40 min)

En esta primera parte, se van a producir nanopartículas de oro dentro del contexto de *síntesis verde*, en donde se hace uso de procesos y materiales con reducido impacto ambiental. Un primer aspecto que debe ser cuidadosamente abordado con los estudiantes es el proceso que lleva a la formación de nanopartículas en fase coloidal y los componentes participantes para que esto tenga lugar. Se requiere clarificar e identificar los componentes necesarios para la formación de nanopartículas coloidales. Son básicamente tres componentes:

**Precursor** o sustancia que contiene el elemento químico que conformará la nanopartícula. En este caso puede ser utilizada el ácido cloroáurico  $\text{HAuCl}_4$ , compuesto químico sólido y de color naranja-amarillo soluble en agua. Sería muy ilustrativo buscar diferentes opciones de compuestos que puedan servir como precursor. Realizar un análisis comparativo y determinar las ventajas o desventajas que pueden ofrecer los diferentes compuestos que contienen oro para ser utilizados como precursor. Cuando el ácido cloroáurico se disuelve en agua, se disocian en aniones de tetracloruro de oro  $[\text{AuCl}_4]^-$  y cationes de hidrógeno  $\text{H}^+$ . Se recomienda profundizar sobre este tipo de compuestos iónicos que al disolverse en agua se descomponen en aniones y cationes, ya que es uno de los aspectos importante en los procesos de síntesis de nanomateriales.

**Agente reductor** Una vez que en el agua se encuentran los iones de tetracloruro de oro, se hace necesario utilizar un agente químico que pueda reducir esta molécula a oro metálico. Para esto se requiere proporcionarle a cada molécula de tetracloruro de oro tres electrones, lo que produce átomos de oro metálico y aniones de cloro los cuales permanecen disueltos en el agua:



Se recomienda realizar un detallado estudio orientado por el docente sobre las reacciones de oxidación y reducción ilustrado con numerosos

ejemplos (Referencia (1)). Una vez que se han reducido las moléculas de tetracloruro de oro en oro metálico, los átomos de oro inician su proceso de formación de nanopartículas. Lo hace a partir de nucleación y crecimiento (diapositiva No 1). Sería muy ilustrativo que los estudiantes investiguen y consulten sobre el proceso de crecimiento de una nanopartícula.

**Agente estabilizante.** Para que las nanopartículas sintetizadas a partir del uso de un precursor y un reductor se mantengan dispersas en el medio acuoso y no experimenten agregación, se requiere que estén cubiertas con algún agente químico que les proporcione carga eléctrica para que por repulsión electrostática se mantengan separadas entre sí. Otra forma de estabilizarlas es rodeándolas de material orgánico para evitar su aglomeración. En este método propuesto de síntesis de nanopartículas de oro, es el segundo caso el que tiene lugar. Se recomienda estudiar las fuerzas de van der Waals y su actuación en los procesos de agregación y pérdida de estabilidad en sistemas coloidales.

#### Preparación del precursor

El ácido cloroáurico se disuelve en agua destilada a una concentración recomendada de  $1\text{ mM}$ . Se hace pertinente garantizar que los estudiantes comprenden y manejan los cálculos de molaridad de soluciones. El volumen de solución preparada se escoge en función de la cantidad de coloide que se desee preparar.

#### Preparación del reductor y estabilizante

Para la síntesis verde de las nanopartículas de oro se va a acudir a extracto de limón el cual nos va a proporcionar el agente reductor y el agente estabilizante. Uno de los agente reductores más conocidos es la vitamina C que tiene como nombre técnico: ácido L-ascórbico cuya fórmula química es  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$  y se encuentra en cítricos como el limón. Además de la vitamina C, el limón contiene ácido cítrico, un reductor que puede igualmente ser el estabilizante.

Estudiar el papel que juega el ácido cítrico y el ácido ascórbico como un antioxidante - presente en la mayoría de frutas-. Para preparar el zumo, simplemente se extrae de limones frescos y se filtra con papel de filtro. El volumen de zumo preparado puede ser aproximadamente de  $10\text{ mL}$ . Una vez preparado el zumo de limón se procede a realizar la síntesis.

Un volumen de *150 mL* de solución del precursor a *1 mM*, se puede dividir en 15 viales con un volumen de *10 ml* cada uno. Estos 15 viales se dividen en 3 grupos de 5. Cada uno de estos grupos va a corresponder a diferentes temperaturas de síntesis, lo cual se requiere para investigar el efecto que juega este parámetro en la calidad y uniformidad de las nanopartículas que se producen. Así, se podría realizar síntesis a temperatura *40 °C*, *60°C* y a la temperatura de ebullición del agua respectivamente. A cada uno de las soluciones de precursor (para una determinada temperatura) se les adiciona diferentes cantidades de reductor/estabilizante para estudiar los efectos derivados de la relación entre la concentración del precursor y del reductor. Así, por ejemplo, se puede probar adicionar a cada uno de los 5 viales: *0.2, 0.5, 0.7, 1, 2 mL* de zumo de limón respectivamente. Estos valores pueden ser escogidos por el profesor y los estudiantes luego de discutir en que podría influir la relación de concentraciones en el resultado final. La cantidad de agente reductor influye sobre el tamaño final de las nanopartículas – mayores concentraciones tienden a producir tamaños más pequeños. ¿Por qué?

Una tabla tentativa como hoja de ruta para una posible distribución de parámetros en la síntesis sería la siguiente:

Temperatura de síntesis	Volumen de zumo de limón				
	Vol 1	Vol 2	Vol 3	Vol 4	Vol 5
T1=					
T2=					
T3=					

El tiempo que tarda en formarse el coloide de oro depende drásticamente de la temperatura a la cual se haya realizado la síntesis. A medida que se van formando las nanopartículas se observa un cambio de color de la solución, que transita del amarillo hacia el rojo-rubí, el cual es un indicativo del producto final. A temperatura ambiente este tiempo puede ser de algunas horas.

Para que los estudiantes puedan apreciar en tiempos razonables los cambios de color durante el proceso de formación de las nanopartículas, se hace necesario realizar la síntesis a temperaturas mayores a la temperatura ambiente. Para el caso de la síntesis a temperatura ambiente se podrían dejar las muestras preparadas para que más adelante se haga posible observar el producto final.

Se recomienda que la manipulación de la solución a temperatura de ebullición del agua sea realizada por el docente.

### Preguntas:

*¿De qué depende el cambio de color a medida que se van formando las nanopartículas?*

*¿Cómo se explica la influencia que tiene la temperatura en el tiempo que tardan en formarse las nanopartículas?*

Una manera de indagar si se han formado nanopartículas es a través del Efecto Tyndall. Se hace pasar un rayo de luz láser a través de la solución. Si se dibuja claramente el rayo dentro del líquido, es indicativo de la presencia de nanopartículas.

Se hace muy interesante abordar el efecto Tyndall y cuestionar a los estudiantes sobre el cómo y el porqué se produce este llamativo fenómeno (diapositiva No 2).

*Nota para el Docente.* Un factor que se podría mencionar en esta experiencia y que el docente podría abordar como un posible parámetro, es el pH de la solución en la que tiene lugar la reacción de síntesis. Un coloide de muy buena calidad y gran estabilidad se obtiene en ambientes ácidos con pH cercanos a 2, valor que lo puede aportar el zumo de limón.

### **Segunda parte: Estabilidad de las nanopartículas en la dispersión coloidal y desarrollo de un nanosensor (Duración 20 minutos)**

Se requiere antes de iniciar esta segunda parte de la experiencia, que el docente y los estudiantes hayan explorado sobre lo que significa sensar y los componentes básicos que forman parte de un sensor.

Como ha sido observado durante el proceso de síntesis, el color del coloide puede ser un importante factor para obtener información sobre las nanopartículas dispersas. Un aspecto que estaría relacionado con el color es el tamaño de las partículas. Si la presencia de alguna sustancia en el coloide logra que las nanopartículas se agreguen, esto produce un cambio de color en función de los tamaños de los agregados. Esto hace posible pensar en un interesante sistema para sensar la presencia de dicha sustancia. Este criterio empleado para configurar el sensor estaría fundamentado en la pérdida de estabilidad del coloide cuando está presente la entidad que se desea sensar y que capaz de producir agregados. Con este criterio ya se han diseñado sensores capaces de detectar contaminantes en agua y patógenos.

Interesa investigar los mecanismos de estabilidad del coloide que se ha sintetizado para proceder a desestabilizarlo con la entidad que se desea sensar. Existen dos posibles causantes de la estabilidad del coloide: los iones negativos de citrato aportados por el zumo de limón que se disponen en la superficie de las nanopartículas

y evitan por repulsión electrostática que las partículas se agreguen. De otra parte, la estabilidad puede ser debida al material orgánico presente en la solución (lo aporta el zumo de limón) que forma una especie de corona de proteína alrededor de la nanopartícula que evita la agregación. La cantidad de proteínas presentes es del 69% de la masa de los nutrientes presentes en el limón. Están formadas por aminoácidos tales como alanina, cistina, valina entre otros.

Para verificar si se trata de estabilidad mediada únicamente por repulsión electrostática causada por los iones de citrato, se puede agregar sal común, la cual al disolverse, aporta iones negativos de cloro y positivos de sodio, estos últimos responsables de neutralizar los de citrato produciendo inestabilidad y aglomeración de las nanopartículas (diapositiva No 3). Los tamaños de estos aglomerados y en consecuencia los cambios de color observados dependen de la cantidad de sal que se haya agregado.

En la diapositiva No 4 muestra un coloide de oro que ha sido sintetizado químicamente con nitrato de sodio como agente químico reductor -ver referencia (3). En este caso no existe en la solución donde ocurre el proceso de síntesis, la presencia de moléculas complejas (proteínas) como las que contiene el zumo de limón. Si a este coloide se le agrega sal de cocina (cloruro de sodio), de la cual se liberan iones positivos de sodio, el coloide cambia de color en función de la concentración, un indicativo de la agregación de las nanopartículas debido a la neutralización de la carga negativa que rodea a las nanopartículas. Este tipo de coloide podría ser utilizado para sensar la presencia de sustancias iónicas con carga positiva.

Observar lo que ocurre para el caso del coloide sintetizado con zumo de limón cuando se le agrega sal de cocina disuelta en agua. Realizar esto con varias concentraciones de sal disuelta: 0.01M, 0.1M, 1M. ¿Cambia el color?

Si no lo hace, se estaría a favor de la hipótesis de una estabilidad causada por la presencia de coronas de proteína recubriendo las nanopartículas en donde la presencia de los iones aportados por la sal no afecta la estabilidad (diapositiva No 5 y 6).

Cuando la estabilidad se produce por capas de proteína que recubren la nanopartícula, la estabilidad resulta muy elevada, aspecto importante en el uso de las nanopartículas para diferentes tipos de aplicaciones, aunque para el diseño del sensor, no resulta una propiedad deseable.

Con un coloide de oro cubierto con las proteínas del limón, se hace posible diseñar sensores colorimétricos que sean capaces de actuar sobre las proteínas y en consecuencia favorecer la agregación de las nanopartículas de oro.

Hemos encontrado que el hipoclorito de sodio puede ser sensado por medio de este tipo de coloide. Es bien sabido que esta sustancia deshidrata y solubiliza las proteínas convirtiéndolas en estructuras fácilmente eliminables. Esta sustancia se encuentra en una gran mayoría de productos para la limpieza y desinfección utilizados en el hogar.

La diapositiva No 7 muestra el coloide al que se le ha agregado un limpiador a base de cloro, el cual es incoloro y se utiliza para lavado de la ropa. Se puede observar el cambio de color que transita de rojo hacia azul. Se propone que los estudiantes busquen productos que contienen sustancias capaces de producir cambios perceptibles en el color del coloide para hacerlas partícipes del diseño de sensores colorimétricos.

Una vez que se observe el efecto desestabilizador, realizar un estudio de cambio de color en función de concentración para establecer cuál es la sensibilidad o mínima cantidad que podría ser sensada.

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

Los coloides de oro muestran un color rojo-rubí debido a la capacidad que tienen de absorber cierta gama de colores del espectro visible y dispersar aquellos que observamos (ver referencia (4)). Resulta muy ilustrativo identificar los colores que absorben preferencialmente las nanopartículas y aquellos que son dispersados. Para esto existen equipos especializados que realizan una medida de la intensidad absorbida en función de la longitud de onda de la luz que incide sobre las nanopartículas. Estos instrumentos toman el nombre de espectrofotómetros.

Con un sencillo montaje casero se hace posible realizar una caracterización óptica explorativa del coloide que ha sido sintetizado. En la web se hace posible encontrar una gran variedad de propuestas para construir un espectrofotómetro casero en donde únicamente se requiere cartón, un CD, papel aluminio y pegante (ver referencia (5)). Simplemente, dejando que luz blanca atraviese el coloide, se puede observar cualitativamente que tipo de colores son preferencialmente absorbidos por las



nanopartículas. Esta información resulta de gran importancia asociada con tamaño, forma y composición del material que se está estudiando.

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

El trabajo con sustancias calientes presenta riesgos si no son manipuladas cuidadosamente. Se recomienda que la manipulación de estas sustancias calientes sea realizada por el docente.

## **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- (1) Conceptos sobre reacciones redox, oxidantes y reductores  
Accesible en:  
<http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4860/html/index.html>
- (2) Procesos de formación, estabilidad coloidal, agregación, y aplicaciones de las nanopartículas, puede ser consultado en el libro: E. González, et al. Nanopartículas, en impresión (2014).  
(Puede ser consultada su disponibilidad en: [www.amazon.com](http://www.amazon.com))
- (3) Síntesis química de nanopartículas de oro y construcción de un sensor colorimétrico aparece explicado en detalle en : L. Filipponi, Colorimetric Gold Sensor, Nanoyou, 2010.  
Accesible en:  
[http://nanoyou.eu/attachments/501\\_EXPERIMENT%20C1\\_Teacher%20document%2014-18.pdf](http://nanoyou.eu/attachments/501_EXPERIMENT%20C1_Teacher%20document%2014-18.pdf)
- (4) “El color en la nanoescala y su dependencia con el tamaño, composición y la forma de los nanomateriales”, puede ser consultado en: E. González, V. Puentes, Arquitectura del Nanocosmos, Ed. Nanocitec (2013) ISBN: 978-958-46-1469-8.
- (5) Instrucciones para construcción de un espectrofotómetro casero.  
Accesible en:
  - [http://fqmegablog.blogspot.com/2010/06/elaboracion-de-un-espectrofotometro\\_04.html](http://fqmegablog.blogspot.com/2010/06/elaboracion-de-un-espectrofotometro_04.html)
  - <https://www.youtube.com/watch?v=f142pnUbCCA>

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Se proporciona un material complementario consistente en un conjunto de diapositivas que permitirán apoyar las explicaciones del docente. El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina “Anexos - Ficha Didáctica – IV.2 – MC.ppt”.



## ¿NANOCOSMÉTICOS?

D. Álvarez<sup>(1,\*)</sup>, H. Jaramillo<sup>(1,2)</sup>, C. Duque<sup>(3)</sup>, R. L. Restrepo<sup>(3,4)</sup>, A. Morales<sup>(3)</sup>

(1) I. E. R. El Tambo, San Pedro de los Milagros, Antioquia Colombia.

(2) Politécnico Jaime Isaza Cadavid, Colombia.

(3) Grupo de Materia Condensada UdeA, Instituto de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia, Colombia.

(4) Escuela de Ingeniería de Antioquia, Colombia.

\*Correo electrónico autor de contacto: [dalvare@unal.edu.co](mailto:dalvare@unal.edu.co)

### FICHA IV.3

#### RESUMEN DE LA ACTIVIDAD

Se desarrolla un juego de roles con una pequeña introducción a una de las aplicaciones más cuestionadas de la cosmética con nanocomponentes como lo es el uso de cremas antisolares (protectores solares) a base de óxido de zinc, brindando elementos de debate que le permitan al estudiante ser crítico frente a los nuevos avances que presenta la nanociencia y la nanotecnología en aplicaciones cotidianas.

#### OBJETIVOS DIDÁCTICOS

- Comprender las diferencias que presenta una partícula al cambiar de la escala micro a la escala nanométrica
- Valorar los riesgos de la nanotecnología en las aplicaciones cosméticas

#### EDADES DE LOS ALUMNOS: 12-16

#### NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: MEDIO

#### TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 2,5 horas

Este tiempo puede ser distribuido en tres etapas con algunos días de diferencia entre la primera y segunda: inicialmente 30 minutos para la realización de la experiencia (llamada adelante como etapa uno) y, luego de unos días, las dos horas restantes para el análisis de la información (etapa dos), planteamiento del problema, distribución de equipos y debate (etapa tres).

## **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Biología (Bachillerato)
- Tecnología
- Ciencias humanas y sociales
- Filosofía / Ética
- Educación artística

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Debido a que la experiencia está relacionada con el uso de cremas antisolares (protectores solares) es importante que los estudiantes conozcan sobre el espectro de luz, haciendo énfasis en los rayos ultravioleta y los daños que pueden causar en la piel con exposiciones prolongadas.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Fichas Didácticas I.1, I.2 y I.3

## **MATERIALES**

- Hojas de papel iris o bond de colores (colores oscuros preferiblemente)
- Regla
- Bolígrafo
- Óxido de zinc (aproximadamente 10 gramos por grupo de estudiantes)
- Acetato de aluminio (o en su defecto una crema humectante)
- Recipiente para mezclar
- Espátula o cuchara
- Pincel
- Cinta adhesiva
- Superficie plana del tamaño del papel Iris (tabla, Icopor ó Telgopore, etc.)

(Algunos de estos materiales se ilustran en la Figura 1.)



Figura 1. Materiales a emplear.

## DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

### Primera etapa de la actividad (30 min)

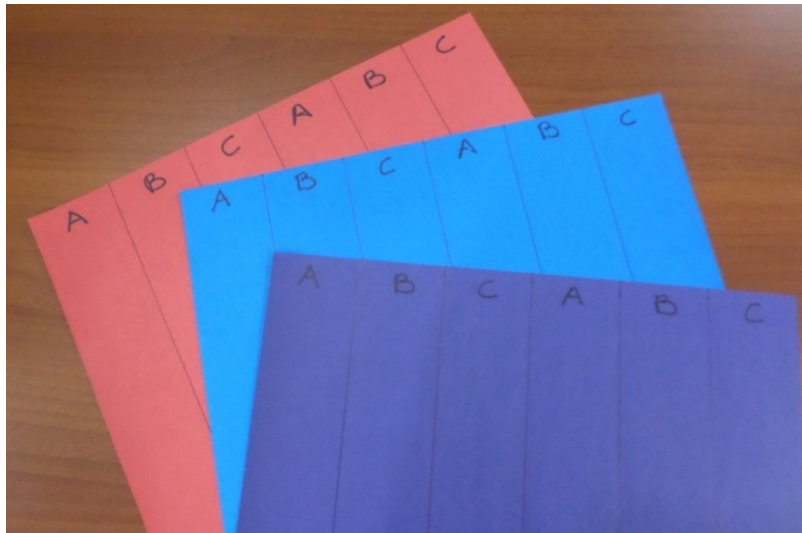
En este primer momento se les habla a los estudiantes de la actividad inicial que será la elaboración de un bloqueador solar básico. Para esto, se realizará una mezcla de óxido de zinc con acetato de aluminio u otro tipo de crema humectante aproximadamente en proporción uno a uno (Figura 2). En este caso, el óxido de zinc será empleado como bloqueador de los rayos ultravioleta del Sol y la crema nos servirá para mejorar la adherencia del óxido a la superficie donde lo probaremos.



Figura 2. Mezcla de Óxido de zinc y Acetato de Aluminio.

En este momento puede hablársele a los estudiantes de la amplia difusión que tienen en el mercado las cremas protectoras solares a base de óxido de zinc como ingrediente principal para bloquear los rayos ultravioleta causantes de tantas afecciones en la piel.

Una vez realizada la mezcla, tomaremos las hojas de papel Iris de forma horizontal y las dividiremos en seis segmentos iguales, marcando al encabezado de cada uno de ellos las letras de la A a la C y luego otra vez de la A a la C, tal como se muestra en la Figura 3. Una vez teniendo nuestro papel dividido y con ayuda del pincel, procedemos a aplicar en todas las franjas B el acetato de aluminio y en las franjas C nuestra mezcla de óxido de zinc y acetato de aluminio. En este caso las franjas A quedarán sin ninguna sustancia para ser empleadas como criterio de comparación (ver Figura 4).



*Figura 3. División de las hojas de papel Iris.*



*Figura 4. Aplicación de las sustancias en las respectivas franjas.*

Luego de esto, procedemos a pegar con cinta adhesiva nuestras hojas a una superficie plana y a exponerla al Sol el mayor tiempo posible teniendo la precaución de que no se nos moje con la lluvia porque podríamos dañar el experimento. El tiempo mínimo de exposición al Sol puede ser unas 6 horas pero cuanto más larga se la exposición más notables serán los resultados y probablemente las conclusiones del experimento puedan ser mucho más enriquecedoras.

Luego de la exposición al Sol y antes de nuestra siguiente sesión los estudiantes deberán observar cuidadosamente las hojas de papel y hacer un listado de lo que consideren se ha modificado en el experimento. Es importante hacer énfasis en color y textura y referirse a cuál de las franjas (A, B ó C) se hacen las anotaciones (ver Figura 5).



*Figura 5. Ejemplo del experimento luego de la exposición solar observado por ambas caras.*

### **Segunda etapa de la actividad (30 minutos)**

En esta segunda parte, es importante iniciar con la socialización de los resultados obtenidos por los estudiantes haciendo hincapié en el elemento color ya que es una característica notoria y objetivo importante de la experiencia. Se espera que las franjas sufran deterioro del color mayormente en la A y posteriormente en la B, siendo la franja C (con nuestro bloqueador preparado) la que mejor preserve el color original. En este momento es posible que resalte una dificultad importante de nuestro bloqueador solar (su color blanco) pero ésta es precisamente una de las conclusiones importantes para la actividad siguiente.

### **Preguntas que deben proponerse a los alumnos.**

Luego de la socialización es importante plantear unas conclusiones a nivel general de la primera parte de la actividad. Es conveniente que las conclusiones incluyan aspectos positivos, negativos, y se hagan sugerencias de mejora de la actividad. Conviene hacer esta actividad con algunas preguntas moderadoras como las que se sugieren:

- ¿Qué aspectos positivos se extraen del experimento?
- ¿Qué aprendizajes prácticos tiene para la vida?
- ¿Qué aspectos negativos o dificultades encontraste en la experiencia?
- ¿Si decidieras fabricar tu propia crema protectora solar como crees que se podría mejorar la realizada en la experiencia?

**Tercera etapa de la actividad: Juego de roles “¿Nanopartículas amigas o enemigas?” (1,5 horas).**

Con estos insumos se da inicio a la siguiente actividad denominada, consistente en un juego de roles que hemos titulado “¿Nanopartículas amigas o enemigas?”. El elemento clave aquí es presentar las nanopartículas de óxido de zinc como una posible solución a uno de los grandes defectos de nuestra crema antisolar como lo es el color blanco, pues en principio mientras más pequeñas sean las partículas del óxido de zinc la capa blanca va desapareciendo pero la protección contra los rayos ultravioleta se mantiene.

En este momento se sugiere desarrollar la siguiente lectura que es un fragmento tomado del texto titulado “*Nanotoxicología: nanopartículas ¿amigas o enemigas?*” de Iván Rodríguez Durán (Blog Creamos el Futuro de la Fundación Telefónica): <http://blogs.creamoselfuturo.com/nano-tecnologia/2012/02/27/nanotoxicologia-nanoparticulas-%C2%BFamigas-o-enemigas/> (Consultado el 18 de julio de 2014).

*“De acuerdo con las conclusiones de dos informes recientes sobre nanotoxicología, la mayoría de los estudios realizados en los últimos diez años se han centrado principalmente en la aplicación de los nanomateriales en lugar de su riesgo para la salud humana y el medio ambiente.*

*Pero ¿a qué se debe la falta de estudios de riesgo para la salud humana y el medio ambiente? Todo apunta a la falta de disponibilidad de expertos en el tema.*

*Esto me recuerda a la visión productiva que se empeña en dar al ingeniero de materiales hoy en día: “usted debe ser capaz, de resolver problemas, cubrir necesidades mediante la fabricación y el diseño de nuevos materiales o mejorar los que ya existen” me comentaba un profesor de materiales hace unos años. ¿Pero qué pasa cuando estos materiales pasan a estar fuera de uso? ¿Qué repercusión pueden tener sobre la salud humana, sobre todo si nos movemos en el campo de los biomateriales? A veces a estas preguntas, no es fácil responder precisamente por la falta de gente especializada en el tema.*

*Harald Krug, un toxicólogo que contribuyó significativamente en los informes, llegó a la conclusión, en base a sus diez años de estudio en el campo nanoseguridad, que hasta ahora no hemos sido testigos de los riesgos debido*



*a la utilización de los nanoproductos o nanopartículas libres. Sin embargo, aunque no hay pruebas sólidas sobre los efectos nocivos de las nanopartículas sintéticas, añadió: las compañías que planean vender sus “nanoproductos” deberían echar un vistazo a su ciclo de vida completo, desde la producción, su uso hasta que se elimine o se recicle.*

*Un informe publicado por la Asociación de la Industria Química y la Sociedad Alemana de Ingeniería Química y Biotecnología ofrece una sinopsis sobre los estudios de investigación relevantes. En uno de estos estudios, el Hospital Cantonal de St. Gallen ha examinado la posibilidad de entrada de las nanopartículas en la placenta humana y en el sistema circulatorio de un feto y descubrieron que las partículas con un diámetro de 200 a 300 nm fueron capaces de entrar en su torrente sanguíneo.*

*En el segundo informe que fue presentado recientemente en Bruselas, se centró en la falta de conocimiento en el campo nanotoxicología y destacó la necesidad de llevar a cabo estudios de investigación que permitan el uso directo de los nanomateriales, sin causar daños ni para la salud humana o para el medio ambiente.*

*Hay un dicho que en castellano dice: “cuando el río suena agua lleva”, lo que al caso nos viene como anillo al dedo, pues la evidencia de que ciertas nanopartículas son nocivas para la salud, son palpables, como muestran los siguientes estudios de los que me hago eco.*

*Resulta que investigadores de la Universidad Tecnológica de Nanyang (NTU) han descubierto que las nanopartículas de óxido de zinc, un compuesto químico muy utilizado en productos de consumo, son capaces de causar cáncer.*

*De acuerdo con el estudio, las nanopartículas de óxido de zinc son capaces de entrar en las células humanas, causando daños en el ADN de las células, y a su vez estimulando la p53, una proteína que impide la multiplicación de las células dañadas y su conversión en células cancerosas. Sin embargo, las células que carecen de p53 o no puede generar la cantidad adecuada de p53 funcional se convierten en células cancerosas cuando fueron expuestas a las nanopartículas de óxido de zinc.*

*Los resultados del estudio enfatizan en que las empresas deberían de volver a evaluar los efectos tóxicos de las nanopartículas de óxido de zinc utilizado en productos de consumo y llevar a cabo más estudios de investigación sobre los niveles de concentración y aplicación de las nanopartículas en productos de uso diario. Los resultados han revelado también que según Ng Kee Woei: Las nanopartículas de óxido de zinc son capaces de elevar los niveles de estrés en las células, causando la muerte de la inflamación o incluso de células.*

*A día de hoy el equipo también está investigando las posibilidades de re-diseño de los nanomateriales con el fin de reducir sus efectos tóxicos sobre la salud humana, conservando sus propiedades funcionales.*

*Las nanopartículas de ZnO no han sido blanco exclusivo de estudio por el grupo del doctor Ng, si no que un equipo de investigadores de Suiza y Australia ha desarrollado un método óptico para examinar cuantitativamente la concentración de nanopartículas de óxido de zinc que como he mencionado se usa en productos de consumo como cremas solares.*

*De aquí surge la siguiente paradoja, por un lado las cremas solares las utilizamos para protegernos de las exposiciones a los rayos solares, pero sabiendo que en su composición presentan nanopartículas de ZnO que son tóxicas. ¿Frente a qué nos estamos protegiendo realmente?*

*Las nanopartículas de óxido de zinc presentan una buena absorción óptica en el rango ultravioleta A y ultravioleta B y la transparencia en el rango de luz visible, por lo que es un ingrediente atractivo y adecuado para los cosméticos de protección solar. Sin embargo, la manifestación de la toxicidad de las nanopartículas de óxido de zinc en algunos tipos de células humanas llevó al equipo de investigación a estudiar el impacto de tales nanomateriales en la piel..."*

El dilema que se plantea en la actividad es:

¿Resulta conveniente emplear cremas antisolares con nanopartículas de óxido de zinc sabiendo que pueden ser tan perjudiciales o incluso más que los rayos Ultravioleta?

En este momento se procede a dividir el grupo de estudiantes en cuatro equipos de forma aleatoria tratando que queden equitativamente distribuidos. Posteriormente, se explica a cada grupo de estudiantes que deben asumir uno de los siguientes roles y responder con los mayores argumentos posibles a la pregunta planteada por el texto anterior. Los roles que se proponen son los siguientes, considerando que por las condiciones podrán ser cambiados en conveniencia de la actividad.

### Cientes

Eres consumidor regular de crema antisolar y te enteras que un alto porcentaje de las cremas disponibles en el mercado contienen nanopartículas de óxido de zinc que permiten una excelente protección solar conservando el color natural de la piel. Como consumidor debes hacer valer tus derechos y exigir que el producto que utilices sea completamente saludable.

### Empresarios (productores)

Representas a una empresa que fabrica cremas antisolares con amplio reconocimiento en el mercado por lo que los niveles de ventas son grandes al igual que los ingresos que perciben los accionistas de la industria. Uno de los mejores avances en el desarrollo del antisolar de más venta es precisamente la adición de nanopartículas que producen idénticos resultados en protección contra los rayos UV con una capa más delgada mejorando la estética a la hora de una exposición solar.

### Empresas de Marketing

Perteneces a una empresa de publicidad encargada de vender productos de consumo masivo y tienes un gran contrato para la promoción de una nueva crema antisolar con nanopartículas que garantizan una mejor protección solar con una capa más delgada que permite una apariencia natural en la piel de quien la aplica. Por otro lado, está la ética relacionada con algunos estudios que parecieran demostrar algunos riesgos para la salud con el uso de estas nanopartículas.

### Comité científico

Formas parte de un comité científico que investiga nuevos descubrimientos y emite conceptos técnicos buscando preservar la salud de la población en general mostrando una neutralidad característica de los procesos científicos.

Una vez establecido el rol de cada equipo, se les permite un tiempo prudente para que seleccionen un vocero y construyan sus argumentos en torno al rol asignado. Este tiempo puede variar entre 20 y 30 minutos aproximadamente.

### **Debate**

Con el salón adecuado en mesa redonda se procede a que cada equipo emita sus argumentos en torno al rol asignado y se les pide a los demás estudiantes que las preguntas que vayan surgiendo en el proceso las anoten y las hagan una vez finalizada la ronda de socialización de argumentos. En este punto, es importante solicitar el orden y la compostura de los alumnos para que el debate se presente de una forma ordenada donde prevalezcan los argumentos y el sentido crítico por encima de las posibles inconformidades que susciten en los demás integrantes o equipos de trabajo. El debate puede tener una duración de unos 30-40 minutos.

### **Conclusiones de la actividad**

Es importante que la actividad finalice con unas conclusiones ya sea de tipo general o nombrando a una persona con buena capacidad de síntesis para esta misión e incluso puede darse un tiempo a los equipos acorde con los roles asignados para que saquen unas conclusiones finales de la actividad y unos compromisos concretos de responsabilidad social frente al tema.

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

Buscar artículos con investigaciones sobre los peligros que representan las nanopartículas de óxido de zinc a los diferentes sistemas del cuerpo y realizar carteleras informativas con dicha información para socializar en su institución con los demás grupos de estudiantes.

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

Aunque el uso del óxido de zinc es ampliamente difundido es recomendable emplear tapabocas para su manipulación y evitar así respirar partículas de este compuesto.

## **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- Comisión Europea, "Óxido de zinc en nanoformas en protectores solares".  
Accesible en: [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/docs/citizens\\_zinc\\_oxide\\_es.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/docs/citizens_zinc_oxide_es.pdf).
- B. Laffon L. et al., "Toxicidad celular inducida por nanopartículas de óxidos metálicos en células neuronales humanas. Daño al sistema nervioso inducido por nanopartículas". Seguridad y medio ambiente. N° 130, Segundo trimestre de 2013. Pg. 34-45.
- J. Franchín, "Evidence That Nanoparticles In Sunscreens Could Be Toxic If Accidentally Eaten". Selected Science News, Science and technology news. 4/19/2010.  
Accesible en: <http://www.scitech-news.com/2010/04/evidence-that-nanoparticles-in.html>. Consultado: Julio 18 de 2014.
- I. Rodríguez, "Nanotoxicología: nanopartículas ¿amigas o enemigas?"  
Accesible en: <http://blogs.creamoselfuturo.com/nanotecnologia/2012/02/27/nanotoxicologia-nanoparticulas-%C2%BFamigas-o-enemigas/>. Consultado Julio 18 de 2014.
- E. Dahl, "Seguridad del bloqueador solar de óxido de zinc". Traducido por U., Domínguez.  
Accesible en: [http://www.ehowenespanol.com/seguridad-del-bloqueador-solar-oxido-zinc-hechos\\_395805/](http://www.ehowenespanol.com/seguridad-del-bloqueador-solar-oxido-zinc-hechos_395805/). Consultado julio 18 de 2014.

- NTN (National Toxic Network). "Submission regarding SCCS Opinion on Zinc oxide (nano form), October 2012". Accesible en: <http://www.ntn.org.au/wp/wp-content/uploads/2012/11/NTA-SCCS-submission-Oct-2012.pdf>. Consultada en julio 12 de 2014.
- SCCS (Comité Científico de Seguridad de los Consumidores). "Óxido de zinc (en forma de nanopartícula)". Accesible en: [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/opinions\\_layman/zinc-oxide/es/index.htm](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/zinc-oxide/es/index.htm). Consultada 12 de julio de 2014.

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Esta ficha no incluye materiales complementarios.



# LOS NANOMATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN

M.C. Alonso, M. Sánchez, O. Ríó y V. Flor-Laguna

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc)

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Depto. de Construcción, c/Serrano Galvache 4 28033 Madrid, España

\*Correo electrónico autor de contacto: [mcalonso@ietcc.csic.es](mailto:mcalonso@ietcc.csic.es)

## FICHA IV.4

### RESUMEN DE LA ACTIVIDAD

Esta actividad pretende que el alumno se familiarice con los materiales de construcción y la posibilidad de aplicar nanomateriales para modificar y mejorar sus propiedades. Aunque la actividad se centra en el caso concreto del hormigón, se dan también algunos ejemplos de otros materiales de construcción, incluyendo una parte práctica en la que se propone trabajar con yeso. Durante la actividad se mostrará que el hormigón es algo más que un material de construcción barato, y cómo la adición de nanomateriales permite fabricar hormigones para lograr construcciones de grandes retos respondiendo a distintas necesidades.

### OBJETIVOS DIDÁCTICOS

- Entender el concepto de hormigón como material compuesto.
- Conocer los componentes y las escalas macro-micro-nano del hormigón.
- Familiarizarse con los avances en la construcción empleando nanomateriales.
- Asimilar los materiales de construcción como materiales porosos en los que los poros están interconectados y la importancia que esto tiene en las propiedades del material y en su interacción con el medio ambiente.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 14-18**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 1 hora**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: MEDIO**

## **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Química (Bachillerato)
- Tecnología
- Educación artística

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

- Los alumnos deberán tener un conocimiento básico sobre la importancia de la construcción y el uso de sus materiales, cómo se produce el cemento y como se fabrica el hormigón y para qué sirven.
- Los alumnos deben estar familiarizados con el concepto de material poroso así como con conceptos como nanomateriales, nanoescala,...
- Los alumnos deben poseer cierta experiencia en trabajo en laboratorio.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Esta ficha deberá ser una de las últimas dado su carácter aplicado y que se basa en el conocimiento previo de los nanomateriales y la nanoescala.

Es preciso seguir la documentación anexa a la ficha:

1. Previamente ver el siguiente video en el que se introduce el proceso de fabricación de cemento y hormigón:  
<https://www.youtube.com/watch?v=zNZAWKcpd98>
2. El profesor seguirá la presentación anexa (ver power point) sobre las posibilidades de la nanotecnología en construcción.

## **MATERIALES**

- Regla o escala para poder comparar materiales con distintas dimensiones.
- Materiales complementarios (ver última parte del documento relativa a la actividad práctica).

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

El desarrollo de esta actividad supone familiarizarse con algunos de los materiales más comúnmente empleados en la construcción. Llegar a comprender la importancia que tienen en nuestra vida cotidiana materiales tan familiares, como es el hormigón o concreto, seguro que los estudiantes han oído hablar de él alguna vez dado que es el material más empleado en los países desarrollados.



Conocer que no solo es un material “barato” en comparación con otros materiales, y relativamente fácil de producir, dado que “cualquiera lo puede preparar en cualquier situación”. Pero lo que los alumnos no conocen es que se trata de un material que está en continua evolución para adaptarse a las nuevas tecnologías, como son los nanomateriales, y poder afrontar los grandes retos de la sociedad y las construcciones del siglo XXI que serán el patrimonio de los siglos futuros, donde el ser humano de esta época dejará su huella, como así lo hicieron otras civilizaciones anteriores como los Romanos a través de construcciones como el “hormigón romano”.

Se recomienda que la actividad se desarrolle en dos periodos de 30 minutos, uno teórico para asimilar conceptos y otro práctico para verificar alguno de los conceptos establecidos y su relación con la nanotecnología. Estos períodos no deben ser consecutivos en el tiempo.

El profesor a través de una presentación en power point (Ficha Didáctica – IV.4 – MC.ppt) irá introduciendo a los alumnos cómo la nanotecnología, a través del uso de nanomateriales, puede llegar a mejorar las propiedades de los materiales de construcción, con especial énfasis en el caso del hormigón.

Transparencia 1: La actividad comienza con la presentación de un video cortito de 3-4 min., donde de forma clara y con dibujos sencillos se hace una descripción de lo que es el hormigón, cómo se fabrica, los componentes básicos que lo constituyen y cómo se emplea para hacer las estructuras de hormigón.

Transparencia 2: Posteriormente se les introduce las distintas partes de las que consta la actividad, comentando cómo se puede actuar con los nanomateriales para mejorar las prestaciones de los materiales de construcción y hacer construcciones singulares con requisitos especiales. Se diferenciará entre la posibilidad de emplear las nanopartículas en nuevas construcciones, considerando su adición desde la fabricación de los materiales de construcción, y el empleo de las nanopartículas en construcciones y materiales ya existentes, aplicándolas sobre la superficie para que puedan transportarse a través de sus poros mejorando sus propiedades.

Transparencia 3: Conocidos y bien identificados los componentes básicos del hormigón a través del video (en caso de que no haya sido posible ver el video se podrá utilizar esta transparencia indicando los distintos componentes básicos del hormigón como se ve en la figura de arriba a la izquierda: grava, arena, cemento, agua), a los alumnos se les hace ver que el hormigón es un material moldeable (puede adoptar cualquier forma) cuando está fresco o fluido. Este material endurece al cabo de unas horas y se

convierte en un material sólido. A partir de ese momento se hace ver al alumno que el hormigón es un material compuesto multiescala que va desde su aspecto macro (foto en la que se diferencian visualmente los áridos o agregados del cemento hidratado, también conocido como pasta de cemento, que es el material de unión de los áridos y aporta las resistencias mecánicas propias de un material sólido rígido). Posteriormente, se transmite al alumno cómo observando la pasta de cemento a nivel de micro escala se puede ver que está constituida por partículas de cemento aún sin terminar de reaccionar, del tamaño de micras (como la foto tiene escala el alumno puede identificar el tamaño de las distintas partículas de cemento anhidro rodeadas del cemento hidratado).

Transparencias 4 y 5: el alumno puede ver el tamaño que tienen los distintos componentes que constituyen un hormigón básico, la grava o agregados (de 10.000.000 a 20.000.000 nm), arena (de 1.000.000 a 100.000 nm), agregados finos (de 100.000 a 10.000 nm), el cemento portland (de 50.000 a 5.000 nm). Para modificar las propiedades del hormigón se pueden adicionar a la mezcla otros componentes que en general son de menor tamaño que el cemento y tienen la propiedad de poder reaccionar con él. Se muestra al alumno como van disminuyendo en tamaño progresivamente hasta llegar a las nanopartículas de sílice (de 100 a 3 nm). En la imagen de la diapositiva 4 se ha introducido una fotografía realizada con microscopio de un hormigón con adiciones (las esferas son cenizas volantes procedentes de la combustión de centrales térmicas) para que los alumnos puedan ver visualmente los distintos tamaños de partículas que forman parte de este hormigón. En la transparencia 5 se incluyen imágenes de los componentes mencionados en la transparencia 4 para que el alumno pueda visualizar las distintas escalas de los materiales.

Transparencia 6: A partir de este momento se le muestra al alumno cómo las partículas de distinto tamaño se empaquetan y dejan huecos o espacios vacíos (que estarán llenos del agua empleada para hacer el hormigón, según el alumno puede comprobar en la figura de la diapositiva, en la que las zonas verdes son los poros rellenos con una resina fosforescente), y cómo si se introducen nanopartículas de sílice una gran parte de estos huecos se llenarían, generándose un sistema más denso. Estas partículas reaccionan con el agua y entre sí, más rápidamente cuanto más pequeñas son y se forma una pasta de cemento densa. En la figura se pueden apreciar las pequeñas partículas aún sin hidratar dentro de la pasta de cemento, de morfología más o menos esférica y de tamaño inferior a 1  $\mu\text{m}$ .

Transparencia 7: En esta transparencia se pretende hacer ver al alumno que además de las nanopartículas de forma más o menos esférica, también se pueden emplear otros tipos de nanomateriales, como son las nanofibras, con forma alargada. Este es el caso de los nanotubos de carbono (se muestra la imagen como si fueran pequeños gusanos de tamaño nanométrico) que se pueden mezclar con el cemento y el agua, de

forma que al hidratarse la pasta de cemento, una vez endurecida, queda como si estuviera “cosida” con las nanofibras. Esta forma de “coser” internamente la pasta de cemento hace que se cree un material que resiste más a agrietarse cuando se intenta romper aplicando una carga externa.

Hasta aquí el alumno se habrá familiarizado con la importancia del tamaño de los componentes para hacer hormigones cada vez más resistentes. Pero ahora es importante que el alumno se familiarice con la propiedad ya mencionada de la porosidad, propiedad que caracteriza a estos materiales. Aunque tienen el aspecto de un sólido denso en realidad se trata de un material poroso en el que la presencia de estos poros influye tanto en las propiedades del hormigón como en su interacción con el medio ambiente.

Transparencia 8: Se muestra al alumno cómo tanto entre los áridos como en la propia pasta de cemento hay huecos y que estos se ponen de manifiesto al impregnar el hormigón con un pigmento fluorescente (color verde). Posteriormente, se les muestra como estos poros están interconectados y que a través de ellos puede pasar el agua y pueden entrar agentes agresivos, como sales disueltas. Del mismo modo, podrán entrar nanopartículas que al ir rellenando los huecos favorecerán el sellado del material mejorando su comportamiento.

Transparencia 9: Se muestran ejemplos animados de cómo las nano partículas entrarían a través de los poros del material y lo sellarían o reaccionarían con él para hacerlo más denso y más resistente. Si estas partículas además tienen la propiedad de reaccionar con el material base pasarían a formar parte de la pasta de cemento, dando lugar a un material mejorado, y no se identificarían visualmente (en la imagen de la derecha arriba se ve como nanopartículas azules penetran a través de los poros dando lugar a productos que sellan los mismos formando compuestos similares, con el mismo color que tenía el material inicial). En la imagen de abajo se puede ver un ejemplo real de la interacción de nanopartículas de sílice con la pasta de cemento en un hormigón una vez transportadas desde la superficie (el alumno puede ver una partícula de unas 5 micras de diámetro formada por la polimerización de las nanopartículas de sílice transportadas, que está perfectamente incorporada en las fases sólidas de la pasta de cemento). A través de los poros del hormigón se pueden incorporar distintos tipos de nanopartículas, como partículas conductoras para hacer más conductor al material, o nanopartículas catalíticas capaces de descomponer los óxidos contaminantes de la atmósfera como el NO<sub>x</sub>. En la figura se esquematiza un pavimento con nanopartículas de óxido de titanio sobre el que se descomponen los contaminantes.

Transparencia 10: Se muestra a los alumnos ejemplos de distintos materiales de construcción a los que se puede mejorar sus prestaciones si se les aplica la

nanotecnología en las distintas formas que se han ido mostrando a lo largo de la ficha: ladrillo, yeso, piedra etc.

Transparencia 11: Esta parte de la actividad termina con una muestra de un ejemplo de construcción desde los comienzos del empleo del “hormigón romano” en la época de los romanos hace 2000 años a la actualidad, reflejando lo que se puede lograr cuando se emplean nanomateriales en la construcción.

### **Preguntas que deben proponerse a los alumnos.**

1. ¿Qué idea tenías de lo que es el hormigón?
2. ¿Te parece que las nanopartículas van a mejorar las prestaciones del hormigón? ¿Por qué?
3. ¿Por qué los poros debilitan el material? ¿Cómo los nanomateriales podrían ayudar a mejorar esta situación?

### **Debate sobre los puntos de vista expuestos.**

Se puede hacer un debate de cómo es posible hacer que materiales que se conocen desde antiguamente, como son muchos de los materiales de construcción, evolucionen permitiendo una constante innovación con ellos y cómo la nanotecnología y los nanomateriales podrán contribuir a ello.

Como resumen de estas actividades, los alumnos deben asimilar que los nanomateriales se pueden incorporar en los materiales de construcción de dos maneras:

1. En nuevas construcciones, añadiendo a la mezcla durante el amasado pequeñas cantidades (1-2%) de nanopartículas, como la nano- sílice, o de nanofibras como los nanotubos de carbono.
2. Aplicadas en la superficie de distintos materiales de construcción (piedra, ladrillo, hormigón, yeso, madera), En este caso las nanopartículas pueden entrar a través del material sólido gracias a su porosidad, mejorando su conservación y prestaciones.

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

### **Actividad manual 1:**

Objeto:

Comprobar cómo con distintas granulometrías de partículas se logran materiales cada vez más densos.

Materiales:

- Bolas de colores de distintos tamaños (se emplearán al menos tres tamaños de dimensiones muy diferentes).
- Recipiente transparente: vaso, jarra, cubo etc.

Descripción:

Tomar las bolas de distintos tamaños y colores y hacer varias pruebas con distintas proporciones de tamaño para ver como varía el número de huecos libres:

1. Bolas del mismo tamaño.
2. Bolas de dos tamaños diferentes.
3. Bolas de tres tamaños y proporciones diferentes.

Identificar los huecos en cada caso. La figura 1 muestra como quedaría la distribución de estas bolas ocupando huecos y espacios de distinto tamaño, algo parecido a lo que se logra fabricando un hormigón empleando la proporción adecuada de componentes y el papel que tendrían las nanopartículas.

NOTA: esta actividad podría realizarse con materiales de construcción como grava y arena de distinto tamaño, incorporando primero los materiales más gruesos y llenando posteriormente con los más finos para ver cómo se van llenando los huecos.



Figura 1. Efecto del llenado de huecos empleando partículas (material de construcción o bolas de colores) de distintos tamaños.

**Actividad manual 2:**

### Objeto:

Hacer un material de construcción para conocer su capacidad porosa y demostrar la conectividad de los poros y la capacidad de penetración de compuestos. Se mostrará además como la capacidad de penetración a través de los poros depende del tamaño de la partícula. Y se evidenciará la diferencia entre un tratamiento de superficie como el caso de las pinturas y un tratamiento superficial con penetración de nanopartículas.







### Materiales:

- Molde pequeño (recipiente de plástico puede o no tener una forma determinada, incluso la tapa de un bote de 1 – 2 centímetros de espesor).
- Desmoldante (plástico recubriendo el molde).
- Yeso en polvo de color blanco.
- Espátula (palo, cuchara,...) para remover.
- Guantes.
- Agua a temperatura ambiente.
- Gafas protectoras para evitar cualquier contacto con los ojos.
- Una disolución con colorante o algo que penetre a través de los poros (por ejemplo colorante alimenticio, azul de metileno,...) si no es posible se utilizará agua coloreada. En el caso de emplear azul de metileno, se prepara una solución con una pequeña cantidad de azul de metileno (punta de la espátula) disuelta en alcohol y diluida posteriormente con agua.
- Acuarelas de colores.
- Pincel.

### Fabricación de la muestra de yeso:

La base del yeso es el sulfato de calcio en polvo, que se consigue en tiendas de construcción o artesanía. Para preparar yeso es necesario tener todos los elementos preparados de antemano. El procedimiento de fabricación es muy sencillo: 1) se toma el molde y se cubre con un film de plástico, 2) se toma una cierta cantidad de yeso acorde con el tamaño del molde 3) se añade progresivamente agua hasta lograr una pasta fluida, 4) la pasta se vierte en el molde y se golpea suavemente el molde para que la pasta tome la forma, 5) se espera hasta su endurecimiento, aprox. 10-15 min, 6) una vez endurecido se saca del molde, 7) se deja secar al aire.

NOTA: para que el resultado de la siguiente fase de la práctica sea más apreciable, se recomienda dejar secar la muestra preparada unas horas antes del desarrollo del resto de la práctica (siendo recomendable un día).

	
1) <i>Molde cubierto con film de plástico</i>	2) <i>Tomar una cantidad de yeso según tamaño del molde.</i>
	
3) <i>Adicionar agua al yeso para formar la pasta</i>	4) <i>Verter la pasta de yeso en el molde</i>
	
5) <i>Golpear suavemente el molde contra la superficie de trabajo para adaptar la pasta a la forma del mismo.</i>	6) <i>Muestra de yeso endurecida y desmoldada.</i>

*Figura 2. Ilustración de los pasos a dar para fabricar una muestra de yeso.*

*Aplicación sobre la superficie de pintura de disolución con colorante:*

- 1) Se pintará con acuarela una parte de la superficie de la muestra de yeso.
- 2) Una vez seca la superficie pintada, en una parte de la misma se pondrán unas gotas de la solución con colorante, para confirmar que no hay penetración de la misma (la pintura ha sellado la superficie del hormigón).
- 3) Sobre la superficie que queda sin pintar, se aplicarán gotas de la solución con colorante, comprobándose como traspasa la superficie y como a medida que se van añadiendo más gotas, la velocidad de paso es menor.

- 4) Finalmente, se partirá la muestra tratada por las distintas zonas de aplicación, y se comparará la profundidad de penetración de la pintura (casi nula) y de la solución con colorante. Con la regla se podrá medir esta profundidad.

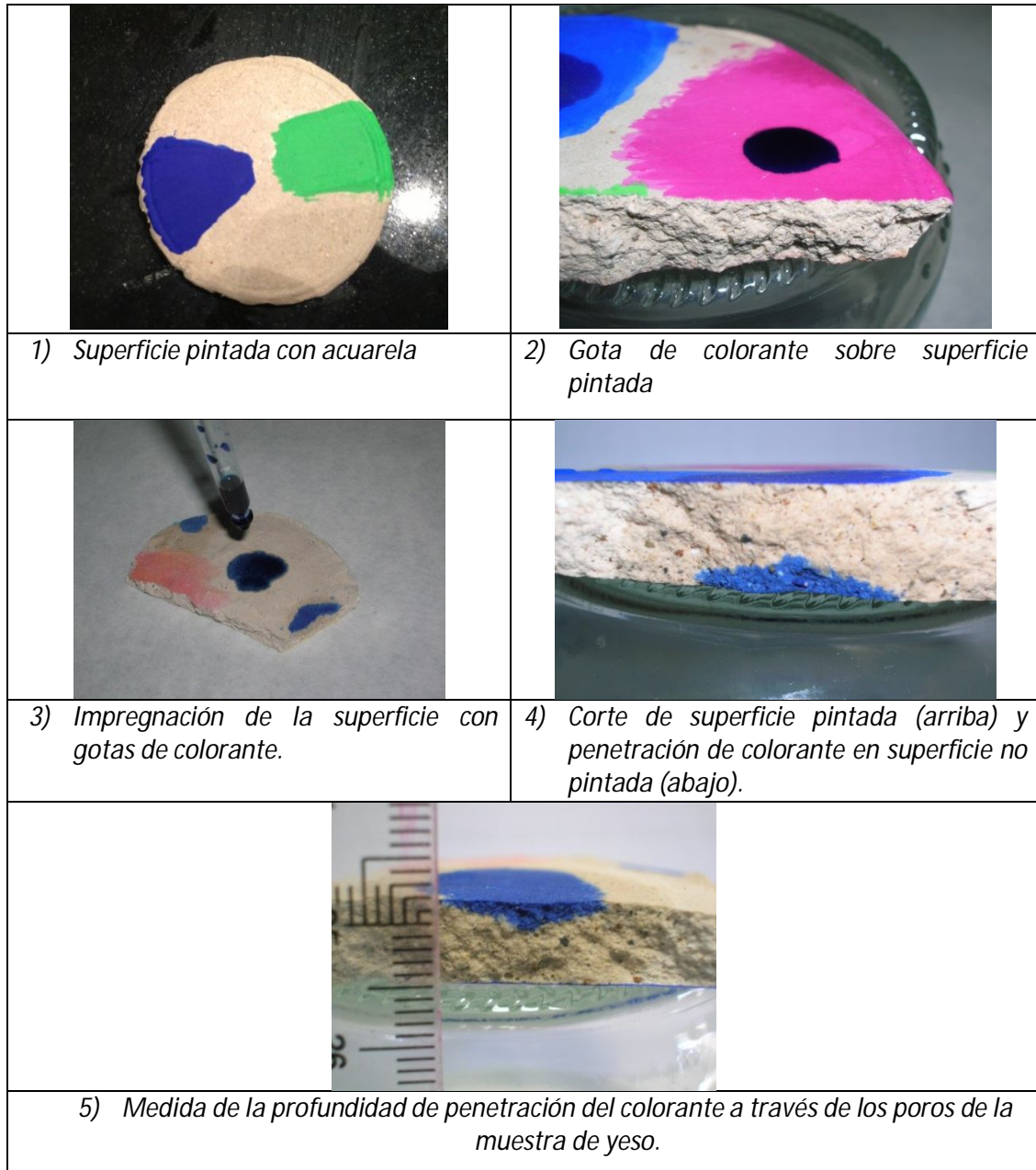


Figura 3. Aplicación sobre la superficie de pintura de disolución con colorante.

## PRECAUCIONES Y SEGURIDAD

En la actividad manual de fabricación de yeso, aunque los productos no son tóxicos, se requiere tomar algunas precauciones, como utilizar guantes de goma, y gafas para proteger los ojos de cualquier salpicadura. No se debe tocar los ojos con el yeso fresco, en el caso de que ocurra, se debe lavar con agua abundante bajo el grifo.



## REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN

### Artículos:

- F. Sanchez, K. Sobolev, Nanotechnology in concrete. A review, Construction and Building materials, 24 (2010) 2060-2071 (artículo en inglés).
- F. Pacheco-Torgal and S. Jalali, Nanotechnology: Advantages and drawbacks in the field of construction, Construction and Building materials, 25 (2011) 582-590. En inglés.
- Ernesto Ocampo Ruiz. "Nanotecnología y arquitectura" en la Revista Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. En <http://www.imcyc.com/revista/1998/febrero/nanfeb98.htm>

### Enlaces:

- <https://www.youtube.com/watch?v=zNZAWKcpd98>
- <http://www.aidico.es/nanotecnologia-cms-74-50-1487/>
- [http://www.euroresidentes.com/Blogs/avances\\_tecnologicos/2004/08/nanotecnologia-y-su-impacto-para-la.htm](http://www.euroresidentes.com/Blogs/avances_tecnologicos/2004/08/nanotecnologia-y-su-impacto-para-la.htm)
- <http://blogs.creamoselfuturo.com/nano-tecnologia/2008/10/05/la-nanotecnologia-en-la-construccion/>

## MATERIALES COMPLEMENTARIOS

Para realizar esta actividad relacionada con la nanotecnología en construcción es preciso utilizar previamente y en el orden indicado en el documento la siguiente documentación anexa:

1. Ver un video previamente de fabricación de cemento y hormigón: <https://www.youtube.com/watch?v=zNZAWKcpd98>
2. Se proporciona un material complementario consistente en un fichero Power Point con un conjunto de diapositivas que permitirán apoyar las explicaciones del docente. El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina "Anexos - Ficha Didáctica – IV.4 – MC.ppt".



# **NANOTECNOLOGÍA: LA REVOLUCIÓN DE LO CHIQUITO**

A. Hasmy<sup>(1,3)</sup>, M.S. López<sup>(2,3,\*)</sup>

(1) Depto. de Física, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Baruta, Edo. Miranda - Apartado 89000 Cable Unibolivar Caracas, Venezuela.

(2) Centro Estudios de la Ciencia, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Carretera Panamericana, Km 11, Altos de Pipe, Estado Miranda, Venezuela.

(3) Red Venezolana de Nanotecnología.

\*Correo electrónico autor de contacto: mslopez@gmail.com

## **FICHA V.1**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

La actividad ilustra a los estudiantes el concepto de "Convergencia Tecnológica" de las nuevas tecnologías con aparatos de uso cotidiano. Consiste en proyectar una secuencia de imágenes (o de aparatos) que muestren la evolución tecnológica a partir del siglo XIX de aparatos como el teléfono, la cámara fotográfica, la radio, la computadora; y como estos artefactos, cada vez más pequeños y eficientes, se han integrado hoy día en lo que se conoce como teléfono inteligente, en gran medida gracias al proceso de miniaturización que ha dado paso a la nanotecnología.

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- Introducir la noción de "Convergencia Tecnológica"
- Identificar el proceso de miniaturización de las cosas
- Manejar los conceptos de nanociencia y nanotecnología
- Vincular la NC y la NT a nuestro entorno

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 12-16**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: BAJO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 45 minutos**

## **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Biología (Ed. Secundaria)
- Física (Ed. Secundaria)
- Química (Ed. Secundaria)
- Tecnología
- Historia
- Filosofía
- Ciencias Humanas y Sociales

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deben estar familiarizados con conceptos como átomos, moléculas, célula, tabla periódica, así como con artefactos tecnológicos como la computadora, el teléfono, la radio y la cámara fotográfica.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Esta ficha puede ser una de las primeras en desarrollarse en el aula ya que introduce la noción de miniaturización, vinculada con el proceso histórico de desarrollo científico-tecnológico de algunas de las tecnologías más usadas en la actualidad. Trabajar el concepto de miniaturización de la tecnología, sirve de preámbulo para trabajar luego temas como las escalas de medida, fundamental para la comprensión de la nanociencia y la nanotecnología. Tras esta actividad se puede continuar con cualquier ficha del bloque I.

## **MATERIALES**

- PC para proyectar presentación
- Video beam
- Aparatos para demostración, si es posible conseguirlos: computador, teléfono, cámara, radio, de diferentes generaciones (Opcional)
- Material complementario (ver última sección del documento)

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

### **Preparación del aula de clase**

Este primer paso sólo es necesario si se cuenta con los aparatos de demostración; si no es el caso se trabajará con la presentación (material complementario), que permitirá visualizar distintas generaciones de cada aparato hasta converger en el teléfono móvil

inteligente. Si se cuenta con los aparatos de demostración se deben acomodar a manera de exhibición en el salón de clase, previo al inicio de la actividad. Esta exhibición debe hacer visible el desarrollo de las tecnologías a través de varias generaciones, es decir, si se tienen varias cámaras fotográficas, se pueden acomodar linealmente una al lado de la otra para que se pueda apreciar el cambio que sufrió la tecnología desde la más antigua a la más reciente. Si se cuenta con un aparato de cada tecnología, pues se colocan alrededor del teléfono inteligente para dar la idea de que todas están unidas al dispositivo central.

### **Inicio de la actividad con los estudiantes**

Se inicia la actividad presentando los objetivos de la misma. Posteriormente se pide a los estudiantes que definan qué es un Teléfono Inteligente y en qué se diferencia de los teléfonos móviles convencionales. Es importante que los estudiantes identifiquen al menos los elementos centrales de un teléfono inteligente: que es un dispositivo de comunicación inalámbrico, que recibe y emite señales, las cuales se conectan a redes de telefonía móvil para llegar a su terminal destino (otro móvil, un teléfono, fijo, o cualquier otro dispositivo capaz de recibir la información enviada). Estas señales contienen información de texto, imágenes, sonido y datos. Una vez identificadas estas características generales se puede comenzar a desagregar distintas tecnologías que convergen en este dispositivo.

Una manera de lograr esto es ir progresivamente identificando, las funcionalidades propias de un teléfono móvil inteligente y asociarlos con aparatos particulares. Por ejemplo, la función de capturar imágenes con el móvil inteligente podemos asociarla con la cámara fotográfica; la función de escuchar radio, audios (música, mensajes de voz, etc.), y captar sonidos podemos asociarla con los radio-reproductores; por su parte la función de procesar todos estos datos se asocia con la computadora. Estas tres tecnologías aunadas a la propia tecnología del teléfono son las que abordaremos en esta ficha, pero el profesor puede agregar o sustituir las tecnologías que prefiera de acuerdo con objetivos específicos del curso, aunque recomendamos trabajar siempre con las tecnologías básicas como el teléfono y la computadora. También se puede pedir a los estudiantes que nombren cuáles de estos aparatos son usados en sus hogares.

Posteriormente, con el apoyo del material complementario y en un viaje imaginario a través del tiempo, se comienza a explicar de manera resumida la trayectoria de desarrollo de cada tecnología empezando por el teléfono, brindando información sobre algunos de los hitos del desarrollo de cada tecnología y asociando el hito con la imagen disponible del aparato o con el aparato en físico ubicado en el salón de clase.

Comenzamos nuestro recorrido histórico con el Teléfono. En 1871, después de más de 15 años de investigación, el ingeniero mecánico italiano radicado en EE.UU., Antonio Meucci, realiza trámites preliminares (presentación de documentación) para patentar su invento ante la Oficina de Patentes de EE.UU., ya que no contaba con \$250 para costear la patente definitiva. El dispositivo en esencia, basado en aparatos electromagnéticos, constaba de un transmisor y un receptor unidos por un hilo metálico a través del cual pasaban las señales eléctricas que replicaban la voz humana.

En 1876, el inventor escocés nacionalizado en EE.UU. Alexander Graham Bell, patentó el primer teléfono capaz de transmitir y recibir voz humana con toda su calidad y timbre y fundó La Bell Telephone Company en julio de 1877. Las primeras comunicaciones telefónicas se llevaban a cabo uniendo los teléfonos directamente, lo que implicaba que para conversar con dos personas se debía tener dos aparatos distintos, así como 2 cables. Ese mismo año se inventa la primera central telefónica por el húngaro Tivadar Puskás, y de esta forma, pasamos de tener una línea dedicada para cada usuario destino, a tener líneas compartidas entre todos los usuarios (Lámina 3 del Material Complementario). Para 1920 los teléfonos utilizaban el discado rotatorio por pulsos. Se envía por el teléfono la información numérica, en forma de pulsos, a la central telefónica automática para que esta le conecte con el número de teléfono deseado. Los pulsos se generan mediante el disco de marcar (Lámina 4 del Material Complementario).

A finales de la década de 1930 e inicios de la década de 1940, tiene lugar la Primera Convergencia Tecnológica de la que hablaremos. Se trata de la integración del Teléfono y la Radio. Durante la Segunda Guerra Mundial, la empresa Motorola desarrolló los equipos "Walkie Talkie" y "Handie Talkie" para contactar a las tropas vía ondas de radio y a finales de los años 1940 se empezaron a desarrollar los primeros sistemas de telefonía móvil civil. La convergencia del teléfono con la radio permitió el desarrollo de la telefonía móvil (Lámina 5 del Material Complementario).

En 1947 Walter Brattain, John Bardeen y W. Shockley inventan en los laboratorios Bell el transistor, que sustituyó a la válvula de vacío (usada en aparatos como el teléfono, la radio y las computadoras) por su mayor fiabilidad, su menor tamaño y costo. El transistor impactó radicalmente la evolución de muchos aparatos, ya que permitió trabajar con señales de frecuencias más altas, así como la reducción de tamaño de los receptores y su fácil portabilidad. La invención del transistor es uno de los pasos más importantes a nivel histórico y científico-tecnológico en el proceso de miniaturización de las tecnologías actuales (Lámina 6 del Material Complementario).

Con la progresiva extensión de las redes telefónicas se hizo necesario diseñar dispositivos con menores tiempos de conexión, por lo que en 1963, la Bell Telephone ofrece a sus clientes el primer sistema de botonera electrónica con marcación por tonos, en la cual el usuario pulsa en el teclado de su teléfono la tecla correspondiente al dígito que quiere marcar, éste envía dos tonos a la central telefónica que son decodificados por filtros especiales, identificando el número que se ha marcado. Una década más tarde; el 3 de abril de 1973, Martín Cooper directivo de Motorola realizó la primera llamada desde un teléfono móvil del proyecto DynaTAC 8000X, el cual fue lanzado al mercado oficialmente en 1983, dando paso al desarrollo acelerado de la primera generación de teléfonos móviles. Por ahora nos detendremos aquí en la historia del teléfono y comenzaremos a hablar del desarrollo de la radio, para conocer brevemente el otro lado de la historia de la Convergencia Radio-Teléfono (Lámina 7 del Material Complementario).

La Radio: En 1897 se conoce uno de los primeros aparatos que funcionaba como receptor de ondas de radio, inventado por Guglielmo Marconi. El invento fue llamado "radio galena" y consistía en alambre de cobre barnizado enrollado alrededor de un trozo de ferrita llamado bobina, cuyo terminal primario está conectado a un condensador variable y a un diodo detector, lo que permitía recibir una onda de radio a través de la modulación de amplitud (AM). El mecanismo para detección y recepción de ondas de radio se fue perfeccionando, hasta que en 1923 Edwin Armstrong describe un sistema de radio de alta calidad, menos sensible a los ruidos radioeléctricos que la modulación de amplitud (AM), utilizando la modulación de frecuencia (FM), que posteriormente reemplazaría a la primera (Lámina 8 del Material Complementario).

Como ya mencionamos, fue durante la Segunda Guerra Mundial que se dio la convergencia Teléfono-Radio, con los "Walkie Talkie" y "Handie Talkie" y a finales de los años 1940 se empezaron a desarrollar los primeros sistemas de telefonía móvil civil. Básicamente eran sistemas de radio analógicos que utilizaban modulación en amplitud (AM) y posteriormente modulación en frecuencia (FM). Los primeros equipos eran enormes y pesados, por lo que generalmente se instalaban en los automóviles. Para mediados de la década de 1950 aparecen aparatos que combinaban elementos del tocadiscos y radio, ofreciendo a las personas la posibilidad de grabar música sintonizada de la radio. A mediados de la década de 1990 se desarrolla la radio por internet mediante *streaming* (descarga continua) con la cual un archivo puede descargarse y reproducirse al mismo tiempo (Lámina 9 del Material Complementario). Ya hemos visto como se integraron la radio y el teléfono, ahora veremos la historia del Computador para descubrir cómo es que los que los teléfonos actuales llegaron a ser inteligentes.

Computadora: Desde 1835 hasta su muerte en 1871, Charles Babbage trabajó en el diseño y construcción de la "máquina analítica", considerada el primer diseño de un computador moderno de uso general; pero no pudo construirla completamente debido a diversos problemas técnicos. Babbage buscaba calcular funciones analíticas, usando dispositivos de entrada basados en tarjetas perforadas de telares, un procesador aritmético que calculaba números, una unidad de control que determinaba qué tarea debía ser realizada y un mecanismo de salida (impresora) (Lámina 10 del Material Complementario). Un siglo después, y tras muchas realizaciones tecnológicas de inventores y científicos, Konrad Zuse en 1936 completa la primera computadora electro-mecánica programable, aunque no 100% operativa, llamada Z1, basada en el sistema binario que operaba con electricidad. Se inicia entonces la primera generación de computadoras a base de tubos de vacío. En 1946 la Universidad de Pensilvania construye la ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator), que ocupaba todo un sótano de la Universidad, tenía más de 18.000 tubos de vacío, consumía 200 kW de energía eléctrica y requería todo un sistema de aire acondicionado; tenía la capacidad para realizar cinco mil operaciones aritméticas por segundo (Lámina 11 del Material Complementario).

La invención del transistor (1947) marca el inicio de la segunda generación de computadoras modernas en las cuales las tarjetas perforadas son sustituidas por tableros de cables y se desarrollan los software a raíz de la creación del lenguaje

COBOL. En 1958 Jack Kilby inventa el circuito integrado (chip), dispositivo en el cual se incluían seis transistores en una misma base semiconductor, con esto se logró minimizar aún más el tamaño de los equipos (Lámina 12 del Material Complementario). Gracias a la invención del chip, las computadoras trabajan a una velocidad mayor ya que se podía correr más de un programa de manera simultánea, surgiendo la multiprogramación. En 1964 el italiano Pier Giorgio Perotto presenta la primera computadora de escritorio o personal llamada Programma 101. Para 1976 fue presentada la Apple I, una de las primeras computadoras personales en combinar un microprocesador con una conexión para un teclado y un monitor (Lámina 13 del Material Complementario). En 1981 se desarrolla la primera computadora portátil, Epson HX-20; contaba con un teclado, batería de níquel cadmio recargable, una pantalla LCD de 120 × 32 píxeles integrada y que permitía 4 líneas de 20 caracteres, dos microprocesadores, 1 una impresora del tamaño de una calculadora de bolsillo, memoria RAM de 16 Kb expandible a 32 Kb y un dispositivo de almacenamiento de datos en micro-casete integrado (Lámina 14 del Material Complementario).

Llegamos al año 1996, donde tiene lugar la Segunda Convergencia Tecnológica que trabajaremos (Teléfono-Computador). En este año la empresa Nokia lanzó el teléfono Nokia 9000, que se considera el primer teléfono inteligente ya que se le integró una CPU derivada de un Intel 386 y 8 Mbytes de memoria RAM. Este teléfono móvil, podía recibir y enviar faxes, SMS y correos electrónicos, pudiendo acceder a Internet a través de mensajería SMS. Con el desarrollo de los computadores personales y la integración de los microprocesadores a los teléfonos móviles, comienza una carrera entre diferentes compañías de la industria de la computación y las telecomunicaciones para desarrollar equipos cada vez más veloces y compactos (Lámina 15 del Material Complementario).

Ahora nos adentraremos en la historia de la Cámara Fotográfica, hasta llegar al momento en que los teléfonos móviles integraron esta tecnología. En 1839, Louis Jaques Mandè Daguerre presenta en Francia, la "cámara Daguerrotipo", considerada la primera cámara fotográfica, al lograr fijar una imagen proyectada por una cámara oscura en una placa de cobre plateado, por efectos de la evaporación del mercurio que actuaba como revelador (Lámina 16 del Material Complementario). En 1884 George Eastman saca a la venta la primera película de rollo sobre papel y en 1888 Kodak, sacó al mercado una cámara que utilizaba carretes de película enrollable, en lugar de placas planas (Kodak 100 Vista). El sistema inventado por Kodak se complementaba además con el revelado de las tomas luego de expuestas, y la carga de la cámara con una nueva película, popularizando la fotografía (Lámina 17 del Material Complementario).

En 1947 Edwin H. Land presentó la primera cámara fotográfica instantánea que revelaba y positivaba la imagen en tan solo 60 segundos, denominándola "Polaroid". Para 1979 se lanza la Nikon Movica, primera cámara foto-filmadora, la cual contaba con un rollo de 35mm y un reel de 8mm que permitía alternar la función de fotografías y filmar video (Lámina 18 del Material Complementario). En 1986 aparece la Canon RC 701, primera cámara electrónica analógica comercializada exitosamente. Funcionaba a base de baterías y permitía tomar más fotografías. En 1991 aparece la primera cámara digital, que se diferencia de la cámara tradicional, en que las imágenes son capturadas



por un sensor electrónico con múltiples unidades fotosensibles, las cuales aprovechan el efecto fotoeléctrico para convertir la luz en una señal eléctrica, la cual es digitalizada y almacenada en una memoria (Lámina 19 del Material Complementario).

Finalmente llegamos a la Tercera Convergencia Tecnológica: Teléfono-Cámara fotográfica, la cual tiene lugar en el año 1997 cuando Philippe Kahn desarrolla un sistema que combinaba la óptica de una cámara Casio QV-10, un teléfono Motorola Star Tac, y un software para compartir fotos con sus amistades, mediante un mensaje de correo electrónico. En el año 2000, aparecen los primeros móviles con cámara fotográfica totalmente integrada; el Samsung SCH-V200 y el Sharp-J-Phone J-SH04 (Lámina 20 del Material Complementario).

El desarrollo del internet móvil en 1999, a través de las conexiones WAP (*Wireless Application Protocol*), potenció mucho más a los teléfonos móviles inteligentes. Nokia lanza ese año el modelo Nokia 7110, primer móvil con navegador WAP, el cual es publicitado en la película Matrix. La última gama de teléfonos móviles inteligentes podría decirse que nació con el iPhone, lanzado en 2007, ofreciendo pantalla multitáctil, mayor velocidad de acceso a Internet y para ejecución de aplicaciones, que con la integración de la computadora, la radio y el reproductor de sonido y la cámara fotográfica, han jugado un papel fundamental en el desarrollo de las llamadas redes sociales (Lámina 21 del Material Complementario).

En la actualidad el proceso de miniaturización atraviesa por una nueva etapa con el desarrollo de la nanotecnología, la cual está permitiendo reducir los costos de producción, aumentar la funcionalidad y disminuir el uso de energía. En los teléfonos móviles algunas de las innovaciones producto del desarrollo de la nanotecnología son nuevos amplificadores de frecuencia más eficientes a base de nanotubos de carbón, micro-micrófonos con membranas de materiales nanocompuestos para mejorar la filtración de interferencias y la recepción de sonidos; lentes líquidos pintados con nano-capas que permiten el movimiento del líquido sin viscosidad para que el lente mantenga su objetivo enfocado; baterías inteligentes fabricadas con nanotubos de silicio y nanosensores para ser integrados al teléfono móvil con diversas funciones. (Lámina 22 del Material Complementario). Finalmente podemos decir que la nanociencia estudia las nanoestructuras, sus propiedades y los procesos fundamentales que ocurren en la nanoescala. La nanotecnología se refiere a la manipulación de la materia en nanoescala (átomos y moléculas. Nanoescala: Nano es un prefijo que indica medida. El nanómetro es la unidad de longitud que equivale a una millonésima parte de un milímetro. Nanoestructuras: Objetos de tamaño entre 1 y 100 nanómetros (nanoescala). La nanotecnología permite entonces la ingeniería en la nanoescala y por lo tanto la posibilidad de reconfigurar todo lo molecular (Lámina 23 del Material Complementario).

### **Elementos a destacar durante el desarrollo de la actividad**

Es importante hacer énfasis en seis momentos de todo el recorrido histórico planteado, a saber, convergencia radio-teléfono, invención del transistor, invención del circuito integrado, convergencia teléfono-computador, convergencia-cámara fotográfica y desarrollo actual de la nanotecnología. Es necesario explicar a los

estudiantes que estos hitos en el proceso de desarrollo y miniaturización de las tecnologías, son una versión resumida de los procesos socio-históricos y científico-técnicos abordados; intencionalmente trabajados a partir del siglo XIX, pero que los inicios de estos desarrollos pueden ser rastreados siglos atrás. Hay que recalcar que estos datos son proporcionados por historiadores de ciencia y la tecnología, por lo cual pudieran estar sujetos a reconsideración si hay nuevos hallazgos históricos. También es importante explicar que estas tecnologías no pueden ser atribuidas a una persona particular, sino que son el resultado del desarrollo de años, décadas e incluso siglos de estudios y realizaciones de muchas personas en distintas áreas como la física, la química, la electrónica, entre otras. Dado que durante la actividad se hace mención a términos sobre los cuales el profesor no podrá profundizar o sobre los cuales los estudiantes no tienen los conocimientos fundamentales para entender completamente (tubos de vacío, transistor, circuito integrado, etc.); a medida que vayan apareciendo términos que generen preguntas en los estudiantes, se pueden ir copiando paralelamente para que luego sean investigados por los estudiantes.

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

Tras el desarrollo de la ficha se pueden proponer una gran variedad de actividades. Una de ellas, como se plantea en el apartado anterior, es pedir a los estudiantes investigar algunos de los términos desconocidos, para ser discutidos en una próxima clase. Otra posibilidad es juntar a los estudiantes en grupos y pedir a cada uno investigar con mayor profundidad la historia de cada tecnología (se puede dividir el teléfono en dos grupos: fijo y móvil) e intentar construir colectivamente un mapa conceptual basado en el texto arriba desarrollado y en el material complementario.

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

El desarrollo de esta actividad no conlleva riesgos.

## **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- D. Crowley, P. Heyer, "La comunicación en la historia. Tecnología, Cultura, Sociedad", Bosch (1997).
- G. Gamow, "Biografía de la Física", Alianza Editorial (2001).
- T. Shelley, "Nanotecnología. Nuevas promesas, nuevos peligros", El viejo topo (2006).

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Se proporciona un material complementario consistente en un conjunto de diapositivas que permitirán apoyar las explicaciones del docente. El fichero que

contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina “Anexos - Ficha Didáctica – V.1 – MC.ppt”.



# **NANOTECNOLOGÍA EN LA SOCIEDAD. OPORTUNIDADES Y RIESGOS**

M.S. López <sup>(1,3,\*)</sup>, A. Hasmy <sup>(2,3)</sup>

(1) Centro Estudios de la Ciencia, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Carretera Panamericana, Km 11, Altos de Pipe, Estado Miranda, Venezuela.

(2) Depto. de Física, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Baruta, Edo. Miranda - Apartado 89000 Cable Unibolivar Caracas, Venezuela.

(3) Red Venezolana de Nanotecnología.

\*Correo electrónico autor de contacto: mslopez@gmail.com

## **FICHA V.2**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

Se propone una actividad en la cual se recrea un espacio de debate hipotético denominado Foro Nacional sobre Nanotecnología. Este Foro Nacional hipotético se realiza para elaborar una ley para regular la nanotecnología a nivel nacional. El objetivo final de la actividad es lograr a través del debate al menos 5 directrices sobre cómo se debe desarrollar la nanotecnología en el país. Cada directriz debe abordar uno de los siguientes temas: fondos para la investigación científica, salud humana y medio ambiente (toxicidad de las nanopartículas), uso dual de la tecnología, acceso equitativo a la tecnología, venta de productos.

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- Vincular la nanociencia y la nanotecnología a nuestro entorno
- Manejar los conceptos de nanociencia y nanotecnología
- Incorporar la perspectiva social en el conocimiento sobre la nanociencia y la nanotecnología

### **EDADES DE LOS ALUMNOS: 12-16**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 1 hora y 30 minutos**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: BAJO**

### **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Tecnología
- Filosofía
- Ciencias Humanas y Sociales

### **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deben estar familiarizados con conceptos como átomos, moléculas, célula, tabla periódica, nanociencia y nanotecnología.

### **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Cualquiera de las fichas correspondientes al Bloque IV sobre aplicaciones de la nanotecnología. En particular se recomiendan las fichas IV.4 y IV.5 que abordan las aplicaciones en medicina, farmacología y cosmética. Las actividades del primer Bloque de esta Guía Didáctica sirven para asentar conocimientos básicos de nanociencia y nanotecnología.

### **MATERIALES**

- PC para proyectar presentación
- Video beam (cañón de proyección)
- Identificadores para cada equipo
- Hojas blancas y lápices o bolígrafos
- Material complementario (ver última sección del documento)

### **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

#### **Preparación del aula de clase**

Posterior a la realización de cualquiera de las fichas del bloque IV (Aplicaciones de la nanotecnología) y previo a la realización de esta actividad es necesario organizar a los

estudiantes en cinco equipos. Se les pedirá que investiguen sobre la perspectiva de nanotecnología y sociedad y traigan material preparado para la próxima clase. Algunas de las frases claves que se pueden proporcionar a los estudiantes para orientar la investigación son: nanotecnología y sociedad, implicaciones sociales de la nanotecnología, nanotecnología y salud, nanotecnología y ambiente, nanotecnología y alimentos, riesgos potenciales de la nanotecnología, nanoética, nanoseguridad, nanotoxicología, transhumanismo, regulaciones de la nanotecnología, etc.

También es necesario hacer unos identificadores con los nombres de los equipos (los políticos; los científicos de ciencias naturales e ingenieros; los científicos de ciencias sociales; las ONG o grupos de consumidores, y los empresarios) y en un recipiente colocar estos mismos nombres en trozos de papel doblados para asignar aleatoriamente un grupo a cada equipo.

### **Inicio de la actividad con los estudiantes**

El día de la actividad, un representante de cada equipo deberá tomar del recipiente un trozo de papel y su equipo deberá asumir la postura del grupo seleccionado. Una vez identificado cuál postura corresponde a cada equipo, el profesor explicará a la clase que desarrollarán un simulacro o modelo de Foro Nacional sobre Nanotecnología. Este Foro Nacional hipotético se realiza para elaborar una ley que regule la nanotecnología a nivel nacional, por lo que el objetivo final de la actividad es lograr a través del debate de los grupos, al menos 5 directrices sobre cómo se debe desarrollar la nanotecnología en el país.

Para reforzar los conceptos básicos el profesor puede recordar que la nanociencia estudia las nanoestructuras, sus propiedades y los procesos fundamentales que ocurren en la nanoescala. La nanotecnología se refiere a la manipulación de la materia en nanoescala (a nivel de átomos y moléculas).

Nanómetro: Nano es un prefijo que indica medida. El nanómetro es la unidad de longitud que equivale a una millonésima parte de un milímetro.

Nanoescala: Rango de longitudes establecido arbitrariamente entre 1 y 100 nanómetros.

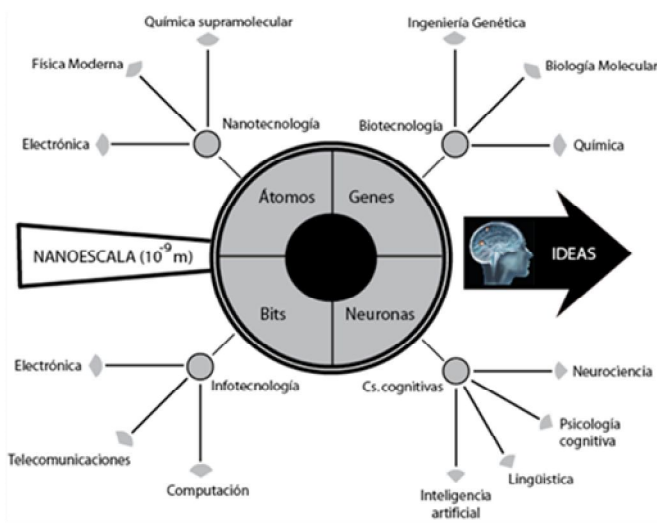
Nanoestructuras: Objetos de tamaño entre 1 y 100 nanómetros (nanoescala).

Nanotecnología: La nanotecnología permite la ingeniería en la nanoescala y por lo tanto la posibilidad de reconfigurar las nanotestructuras a nivel atómico y molecular.

Como insumos o premisas adicionales para la actividad también se puede hacer referencia a las controversias que actualmente existen sobre la toxicidad y la

exposición a las nanopartículas por diferentes vías. En cuanto a la vía inhalatoria hay incertidumbre sobre la toxicidad de nanomateriales que inhalados, dependiendo de su tamaño, forma y composición química, son capaces de penetrar y depositarse en los diferentes compartimentos del aparato respiratorio, en la región extra-torácica incluyendo la boca, fosas nasales, la laringe y la faringe; la región traqueo-bronquial, de la tráquea a los bronquios; y la región alveolar que comprende los bronquiolos y los alvéolos.

Sobre la exposición a través de la piel (vía dérmica) hay contradicciones sobre los efectos específicos para la salud relacionados con la exposición dérmica a partículas ultrafinas. Estudios sugieren que este tipo de partículas pueden penetrar a través de los folículos pilosos, donde los constituyentes de las partículas pueden disolverse en condiciones acuosas y penetrar a través de la piel. Por la vía digestiva también hay controversia sobre los efectos específicos para la salud relacionados con la ingestión de nanopartículas que puede tener lugar debido a malas prácticas higiénicas durante el manejo de nanomateriales.



Fondos para la investigación científica

Salud humana y medio ambiente (toxicidad de las nanopartículas)

Uso dual de la tecnología

Acceso equitativo a la tecnología

Regulación en venta de productos.

Figura 1. Imagen sobre disciplinas y áreas que convergen en la nanotecnología y temas generales de las directrices (ver presentación con materiales complementarios).

Posteriormente a esta introducción, el profesor puede dar los lineamientos sobre las posturas que debe asumir de cada grupo. Por ejemplo, el grupo de los científicos naturales e ingenieros, podrían ser los entusiastas de la nanotecnología, que apuestan por los beneficios que el desarrollo de ésta puede traer a la humanidad; dentro del grupo de los empresarios algunos asumirían una postura de apoyo a la tecnología pero basados en las ganancias que podrían obtener, mientras otros se mostrarían preocupados por lo costoso y complejo de incorporar la nanotecnología en sus



negocios, mostrándose reacios a la nanotecnología. En los grupos de científicos sociales y de las ONG o grupos de consumidores se ubicarían los escépticos y con más reservas sobre la tecnología, mostrando preocupación por las posibles consecuencias de la masificación de la misma, así como por los desafíos para aplicar principios éticos en el desarrollo de la nanotecnología.

Una vez dados estos lineamientos iniciales se comienza el debate entre las partes. Los estudiantes deberán utilizar los elementos investigados previamente para construir un argumento de acuerdo al grupo que les ha tocado representar y defender, ceder, negociar, con las posturas de los otros equipos. El profesor servirá como mediador y relator, registrando las ideas principales expuestas por los estudiantes en sus equipos, así como los acuerdos y desacuerdos entre los mismos, sobre los cinco temas generales que sobre los que se deben desarrollar las directrices, a saber, fondos para la investigación científica, salud humana y medio ambiente (toxicidad de las nanopartículas), uso dual de la tecnología, acceso equitativo a la tecnología, venta de productos.

Para finalizar, en base a la relatoría hecha por el profesor, así como en los propios apuntes que pudieran haber tomado los propios estudiantes, se procederá a redactar conjuntamente las principales directrices que servirán de base para el desarrollo de la Ley. Posteriormente se realizará una votación para identificar si el documento redactado cuenta con el apoyo mayoritario del Foro para ser aprobado y de ser este el caso, un representante de cada grupo firmará el documento, dando por finalizada la actividad.

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

Tras la realización de la actividad se puede pedir a los estudiantes investigar si existe alguna regulación a nivel nacional para la nanotecnología, para discutir sus planteamientos centrales en una próxima clase. Otra actividad que podría hacerse es redactar una nota de prensa (con registro fotográfico si es posible), bien sea por equipos o individualmente, sobre la realización del Foro Nacional de Nanotecnología, en la cual se destaquen los puntos más importantes del debate y el resultado del mismo. La nota de prensa más completa puede ser difundida a todo el plantel educativo a través del periódico escolar, la radio escolar o en las carteleras informativas.

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

El desarrollo de esta actividad no conlleva riesgos.

## REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN

- G. Foladori, N. Invernizzi, "Nanotecnologías disruptivas. Implicaciones sociales de las nanotecnologías", Miguel Ángel Porrúa, 2006.
- ICTA (International Center for Technology Assessment), "Principios para la supervisión de nanotecnologías y nanomateriales", ICTA [Traducción del inglés de ReLANS], 2008.
- G. Foladori, N. Invernizzi, "Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina", ReLANS-IPEN, (2012) <http://es.scribd.com/doc/89540340/Nanotecnologia-Esp>
- Portal del ETC Group, <http://www.etcgroup.org/es>

## MATERIALES COMPLEMENTARIOS

Se proporciona un material complementario consistente en un conjunto de diapositivas que permitirán apoyar las explicaciones del docente. El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina "Anexos - Ficha Didáctica – V.2 – MC.ppt".

# **LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL DEL SIGLO XXI: OPORTUNIDADES DE LA NANOTECNOLOGÍA**

J. Díaz-Marcos\*, G. Oncins, J. Mendoza, S. Estradé

Centros Científicos y Tecnológicos de la Universidad de Barcelona (CCiTUB)

c/ Lluís Solé i Sabarís 1, 08028 Barcelona, España.

\*Correo electrónico autor de contacto: [jdiaz@ccit.ub.edu](mailto:jdiaz@ccit.ub.edu)

## **FICHA V.3**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

Esta ficha plantea una serie de actividades para que los alumnos puedan aprender de primera mano algunos de los beneficios de la nanotecnología de una forma práctica y teórica. La ficha presenta un recorrido por diferentes nanoproducidos que han aparecido en el mercado.

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- Beneficios de la nanotecnología
- Riesgos asociados
- Cómo trabajar de forma segura

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 12-16**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: MEDIO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 2,5 horas**

(2 periodos de 60 minutos para la fabricación del puzle en un taller y otros 30 minutos para la realización y explicación del puzle).

### **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)

- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Tecnología
- Pretecnología

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deberán estar familiarizados someramente sobre el concepto de nanotecnología, nanomateriales y la escala nanométrica.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Fichas Didácticas I.1 a I.4

## **MATERIALES**

### **Paso previo, fabricación del puzle:**

- Plancha de imán autoadhesivo
- Fotocopia color de fotografía
- Cúter
- Diseño del puzle elegido
- Tijeras

### **Actividad:**

- Plástico flexible y plástico duro, ambos transparentes
- Superficie superhidrofóbica (vidrio) y una placa metálica normal (20 x 20 cm)
- Una botella de plástico (a poder ser de cerveza) y una botella de vidrio
- 2 pelotas de tenis (de peso diferente)
- Un test de embarazo

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

En la actividad los alumnos abordarán algunos de los múltiples beneficios de la nanotecnología, aquí se proponen algunos, pero la actividad es lo suficientemente dinámica cómo para ir actualizándose continuamente, introduciendo nuevos beneficios.

Los alumnos fabricarán y trabajarán con puzles, los cuales estarán basados en diferentes fotografías que de forma visual y descriptiva (explicando la fotografía y sus beneficios) abordarán alguno de los múltiples beneficios de la nanotecnología.

Esta actividad propone combinar una actividad práctica no vinculada a la nanotecnología, con una actividad teórica vinculada a la nanotecnología, de esta manera los alumnos podrán ir interiorizando conceptos de nanotecnología (en este caso sobre sus beneficios) de una manera indirecta y relajada.

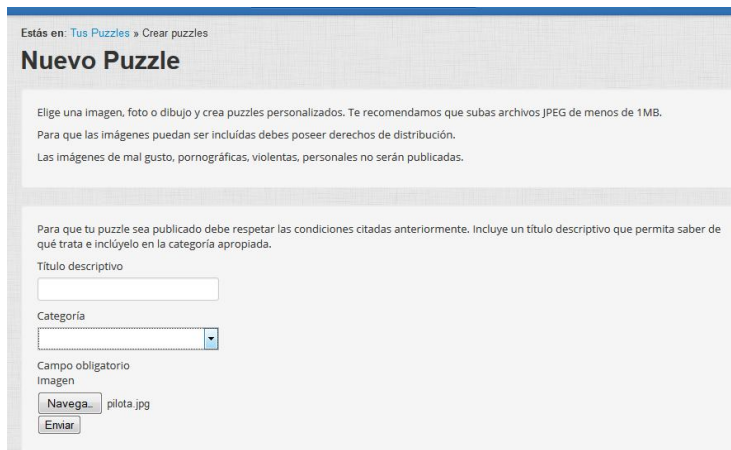
### **Preparación de materiales.**

Previo a la actividad en sí misma, el profesor o los alumnos fabricarán el puzle (magnético) en el taller de pretecnología o lugar equivalente del centro escolar, siguiendo los siguientes pasos:

#### Paso 1. Generación del patrón del puzle sobre una imagen.

Realizar el diseño del puzle, a partir de la fotografía escogida. El archivo de la fotografía se introduce en el programa on-line en el enlace <http://tuspuzzles.es/crear>

A continuación se cumplimentan los campos que aparecen en la siguiente pantalla:



The screenshot shows a web form titled 'Nuevo Puzle' on the website 'Tus Puzzles'. The form includes instructions: 'Elige una imagen, foto o dibujo y crea puzles personalizados. Te recomendamos que subas archivos JPEG de menos de 1MB. Para que las imágenes puedan ser incluidas debes poseer derechos de distribución. Las imágenes de mal gusto, pornográficas, violentas, personales no serán publicadas.' Below this, it states: 'Para que tu puzle sea publicado debe respetar las condiciones citadas anteriormente. Incluye un título descriptivo que permita saber de qué trata e inclúyelo en la categoría apropiada.' The form fields are: 'Título descriptivo' (text input), 'Categoría' (dropdown menu), and 'Imagen' (file upload field). The 'Imagen' field shows a file named 'pilota.jpg' and a 'Navega...' button. There is also an 'Enviar' button at the bottom.

*Figura 1. Pantalla de entrada de datos de la aplicación para crear puzles.*

Se pone un título descriptivo y la categoría (en esta ficha se describen para cada fotografía los títulos descriptivos y la categoría), se carga la imagen y se aprieta el botón enviar.

En la siguiente pantalla, seleccionamos el número de piezas (entre 12 y 104 piezas) que queremos para el puzle. El número de piezas se elegirá en función de la edad de los alumnos alumno (entre 12 y 16 años):

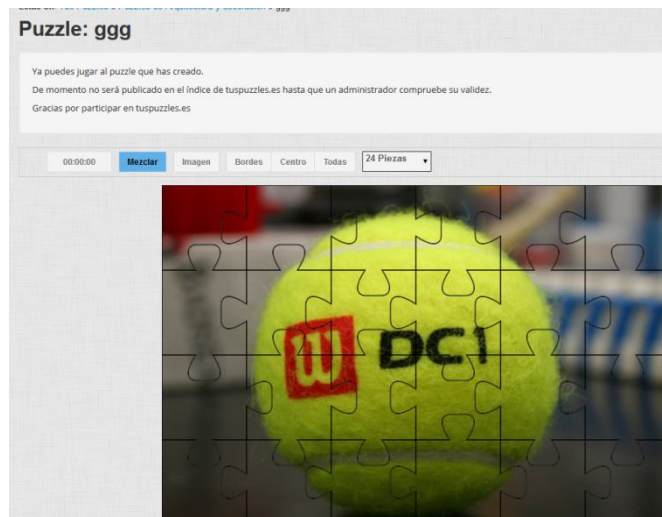


Figura 2. Pantalla de entrada de datos de la aplicación para crear puzles.

### Paso 2. Fabricación de las piezas del puzle.

En primer lugar se recorta la foto enmarcada y se marcan las líneas internas del puzle. Es conveniente hacer líneas dobles separadas entre sí, unos 2 mm.

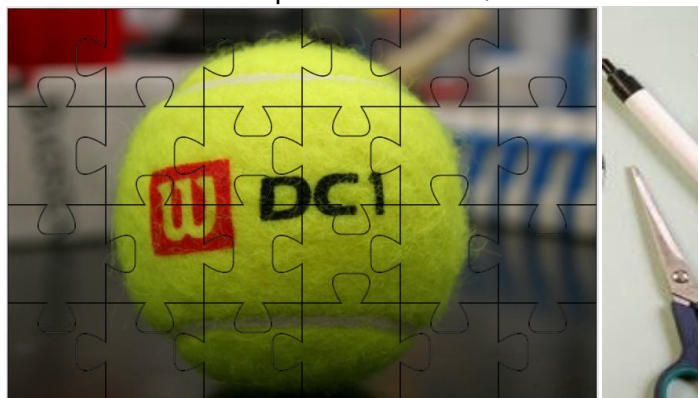


Figura 3. Pantalla de entrada de datos de la aplicación para crear puzles.

### Paso 3. Preparación de la plancha imantada.

Cortar la plancha imantada del tamaño de la foto. Quitar el papel protector, para dejar descubierto el lado autoadhesivo (ver Figura 4).



Figura 4. Preparación de la plancha imantada.

Paso 4. Pegado de la foto sobre la plancha.

Se pegará la foto sobre la plancha, asentándola suavemente desde el centro hacia los bordes para evitar burbujas de aire (ver Figura 5).

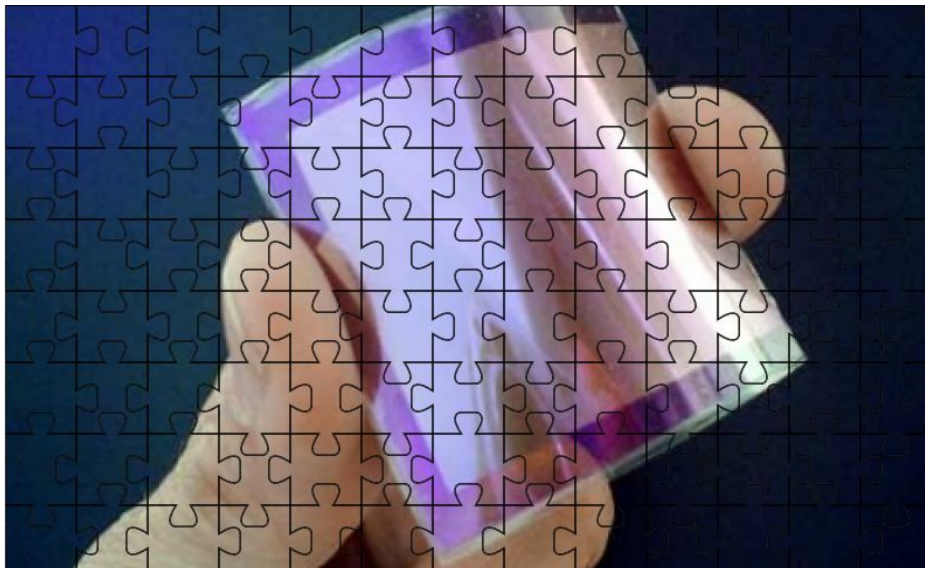


*Figura 5. Adhesión de la foto sobre la plancha magnética.*

**Algunos ejemplos propuestos de productos con nanocomponentes.**

Ejemplo 1: Panel solar con nanopartículas (Nanosys)

Beneficios: Bajo peso y flexibilidad con relación a los paneles normales



*Figura 6. Panel solar con nanopartículas (Nanosys)*

Nota para el profesor: Las células solares son caras en parte debido a que son difíciles de fabricar. La mayoría se producen en cámaras de vacío que utilizan mucha energía para depositar capas delgadas de materiales semiconductores sobre una oblea de silicio sin defectos. Los prototipos de paneles solares que incorporan nanotecnología

son más eficientes que los diseños estándar para la conversión de luz solar en electricidad, lo que permitiría en un futuro próximo poder fabricar paneles solares de bajo coste, ya que este tipo de paneles son más baratos de fabricar y más fáciles de instalar que los convencionales. Para fabricarlos se pueden utilizar procesos de impresión (prácticamente se podrán pintar) ya que este tipo de paneles son tan flexibles que se pueden colocar en rollos flexibles en lugar de paneles discretos.

#### Ejemplo 2: Vidrio recubierto de nanopartículas (Saint Gobain Glass)

Beneficios: Autolimpiable, superhidrofóbico



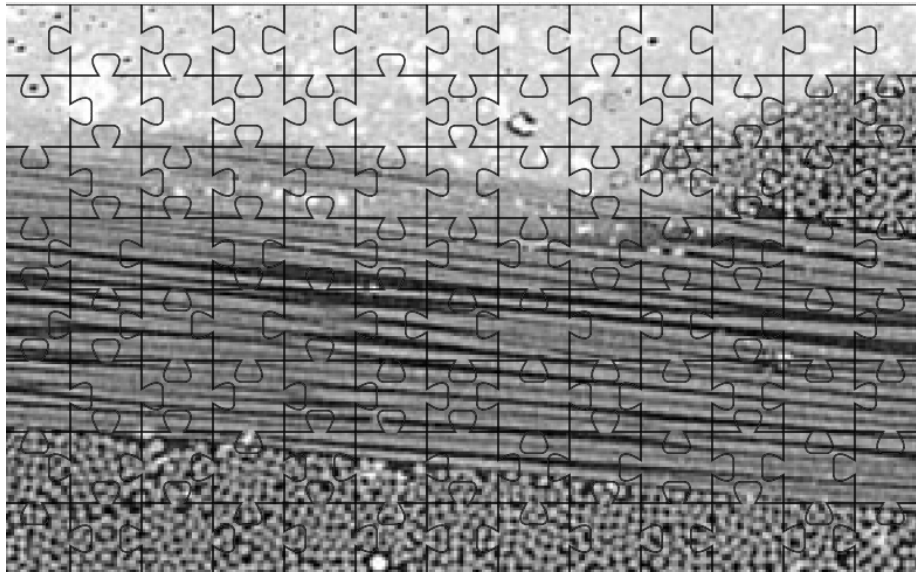
*Figura 7. Vidrio recubierto con nanopartículas (Saint Gobain Glass)*

Nota para el profesor: La repelencia al agua o hidrofobia, de los materiales es de gran importancia en numerosas aplicaciones para usos industriales. Por ejemplo, el aumento de la hidrofobicidad es a menudo deseable en superficies sujetas a la acumulación de hielo / nieve o expuestas al agua. En este ejemplo, se ha recubierto un vidrio con nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  para hacerlo superhidrofóbico y autolimpiable, aprovechando el efecto flor de loto (Flor de loto : La superficie de su hoja es super hidrofóbica, contiene nanocristales de cera. El hombre ha usado ésta técnica para aplicarla en sistemas de autolimpieza (hidrofóbico e hidrofílico). Un sustrato superhidrofóbico es aquel en el que una gota de líquido sobre el sustrato muestra un ángulo de contacto de, al menos,  $160^\circ$ ).

#### Ejemplo 3: Nanocompuesto de polímero-silicato (NASA)



Beneficios: Mejores propiedades térmicas, mecánicas y de barrera y puede ser utilizado en los envases de alimentos y bebidas, los tanques de almacenamiento de combustible para aviones y automóviles, y en componentes aeroespaciales.



*Figura 8. Nanocompuesto de polímero-silicato (NASA)*

#### Ejemplo 4: Botella de refresco. Nanopartículas de arcilla en recipiente plástico (Miller)

Beneficios: Mantiene la cerveza fresca. Mejora capacidad de almacenamiento (retiene oxígeno el dióxido de carbono). Es un recipiente más seguro, ya que al ser de plástico evitamos que en caso de rotura podamos sufrir cortes, como en el caso de los recipientes de vidrio. Además tiene menores costes de fabricación.



*Figura 9. Botella de refresco. Nanopartículas de arcilla en recipiente plástico (Miller)*

Nota para el profesor: Los nanocompuestos (material compuesto o multifásico donde una de las fases tiene una, dos o tres dimensiones de menos de 100 nanómetros (nm))

en la industria alimentaria permiten a los envases de alimentos reducir al mínimo las fugas de dióxido de carbono de las bebidas carbonatadas, o reducir la entrada de oxígeno, flujo de humedad, o el crecimiento de las bacterias con el fin de mantener la comida más fresca y más segura durante más tiempo.

Ejemplo 5: Batería auto-recargable con nanopartículas de fosfato de hierro y litio (en máquinas-herramientas de DeWalt).

Beneficios: Las nanopartículas aumentan la rapidez de recarga. Sirven de baterías en herramientas eléctricas de alta gama. Más seguridad en su uso.



*Figura 10. Herramienta con batería auto-recargable con nanopartículas de fosfato de hierro y litio (DeWalt).*

Nota para el profesor: Las herramientas cotidianas con baterías recargables están compuestas de iones de litio en un cátodo de óxido de cobalto y un ánodo de carbono. Estos dispositivos tienen baja potencia, se desgastan rápidamente, y corren el riesgo de incendio o de explosión. Para resolver estos problemas se ha recurrido a la nanotecnología, mediante la sustitución del electrodo positivo con nanopartículas de un nuevo material, fosfato de hierro y litio, que permite que los iones se muevan más rápidamente, aumentando la velocidad del ciclo de recarga. *Black and Decker* y *DeWalt* han empezado a utilizar estas baterías en herramientas eléctricas de alta gama. En resumen, mediante el uso de la nanotecnología, las baterías auto-recargables son más rápidas, potentes y seguras.

Ejemplo 6: Test de embarazo con nanopartículas de oro recubiertas de anticuerpos (First Response)

Beneficios: Facilidad de lectura. Mayor fiabilidad de resultados. Mayor sensibilidad.



Figura 11. Test de embarazo con nanopartículas de oro recubiertas de anticuerpo (DeWalt)

Nota para el profesor: Las nanopartículas de oro puede hacer que los test de embarazo sean mucho más fáciles de leer. Cuando una mujer queda embarazada, su cuerpo comienza inmediatamente a fabricar la hormona gonadotropina coriónica humana (hCG). Para realizar la prueba, una mujer orina sobre la tira del test, si la mujer está embarazada, algunas de las nanopartículas de oro recubiertas de anticuerpo en la tira se adhieren a la hCG, migran hasta el papel, y se depositan en la línea indicadora. Si el producto químico no está presente en la orina, todas las nanopartículas de color rosa no quedan registradas en la tira. Con este test el color es mucho más apreciable en caso de dar positivo.

#### Ejemplo 7: Pelotas de tenis recubiertas de nanoarcillas (Wilson Sporting Goods)

Beneficios: Menor peso. Mayor duración de la firmeza de la pelota. Retiene mejor el aire dentro de la pelota. Sirven de las pilas en herramientas eléctricas de alta gama. Más seguridad en su uso.

Nota para el profesor: Desde hace varios años, *Wilson Sporting Goods* forran sus pelotas de tenis doble núcleo de alta gama con un compuesto a base de caucho de butilo y vermiculita. Las nanopartículas de arcilla se extienden como hojas de papel esparcidas por el suelo y evitan que las moléculas de aire se escapen, lo que mantiene la firmeza de las bolas por un tiempo inusualmente largo. Los aditivos en la nanoescala en los materiales compuestos de polímeros para bates de béisbol, raquetas de tenis, cascos de moto, parachoques de automóviles, equipaje y carcasas para herramientas eléctricas permitan que el nuevo material sea más ligero, rígido, duradero y resistente.



Figura 12. Pelotas de tenis recubiertas de nanoarcillas (Wilson Sporting Goods)

### **Preguntas que pueden proponerse a los alumnos.**

- ¿Cuáles son algunos de los beneficios de la nanotecnología?
- ¿Qué propiedades mejoran gracias a la nanotecnología?
  - Panel solar: Flexibilidad y peso
  - Superficie con nanopartículas: Mojabilidad/Humectabilidad y propiedades superficiales
  - Superficies con nanocompuesto: Mejores propiedades térmicas, mecánicas y de barrera
  - Pelota de tenis: Peso y resistencia
  - Herramienta: Duración batería y resistencia
  - Botella cerveza: Resistencia, fragilidad y capacidad térmica
  - Test embarazo: Rapidez y fiabilidad de resultados

### **Debate sobre los puntos de vista expuestos.**

El debate lo inician los alumnos de 14-16 años, exponiendo ellos, a partir de sus conocimientos en nanotecnología, cada caso práctico asociándolo con su puzle correspondiente. De esta manera, los alumnos mayores podrán interiorizar los conocimientos adquiridos en nanotecnología y los alumnos pequeños, podrán a través del juego, ver casos prácticos de beneficios tangibles de la nanotecnología.

### **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

Una vez concluidos los puzles, la actividad se complementa con un debate sobre los beneficios de la nanotecnología en torno a alguno de los casos prácticos que se han mostrado. También se puede plantear la búsqueda, en grupos o por cada alumno/a

por separado, de otros productos con nanocomponentes indicando en cada caso que propiedad es la que se mejora.

Por último, se anima a los alumnos a evaluar otras propiedades y materiales a mejorar con el uso de la nanotecnología y una vez encontrados, elaborar ellos mismos nuevos rompecabezas.

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

El desarrollo de esta actividad no conlleva riesgos.

## **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- <http://ice.chem.wisc.edu/Forms/ICEOrderFormOnline.pdf>
- <http://www.nanotech.ucsb.edu/index.php/education/nanotechnology-activities/482-size-and-scale-7>
- <http://www.nano.gov/you/nanotechnology-benefits>
- <http://tuspuzzles.es/crear>
- <http://discovermagazine.com/galleries/zen-photo/n/nanotech-products>

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Se proporciona un material complementario consistente en las imágenes utilizadas para realizar los diferentes puzles. El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina "Anexos - Ficha Didáctica – V.3 – MC.ppt".



# **LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL DEL SIGLO XXI: RIESGOS DE LA NANOTECNOLOGÍA**

J. Díaz-Marcos\*, G. Oncins, J. Mendoza, S. Estradé

Centros Científicos y Tecnológicos de la Universidad de Barcelona (CCiTUB)

c/ Lluís Solé i Sabarís 1, 08028 Barcelona, España.

\*Correo electrónico autor de contacto: [jdiaz@ccit.ub.edu](mailto:jdiaz@ccit.ub.edu)

## **FICHA V.4**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

Esta ficha abordará, a través de juegos, el tema de los riesgos asociados al uso de la nanotecnología. En particular se mostrará a los alumnos cuáles son las vías de exposición cuando se trabaja con nanopartículas. De esta forma los alumnos podrán asociar la importancia de usar sistemas de protección adecuados cuando se trabaja con nanopartículas.

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- Beneficios de la nanotecnología
- Riesgos asociados
- Cómo trabajar de forma segura

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 12-14**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: MEDIO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 2,5 horas**

(2 periodos de 1h para la fabricación del juego y 30 minutos para la realización de la actividad).

**ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Biología (Bachillerato)
- Tecnología
- Pretecnología

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deberán estar familiarizados con conceptos de anatomía (partes del pulmón, el cerebro y de la piel). Deberán tener conocimientos básicos de nanotecnología. En particular es interesante que estén familiarizados con los tamaños típicos de átomos, nanopartículas, una cadena de ADN, virus, bacterias, etc.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Fichas Didácticas correspondiente al Bloque I y la Ficha Didáctica V.4

## **MATERIALES**

- 2 superficies de cartón de 40x40cm
- Cúter o tijeras
- Rotuladores
- Pegamento para madera (cola blanca)
- 5 canicas grandes y 5 pequeñas.
- Palitos de helados o lápices

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

### **Introducción**

En esta actividad, dividida en diferentes partes, los alumnos se familiarizarán con los riesgos de estar expuestos a nanomateriales y como estos riesgos dependen directamente del tamaño de los nanomateriales. Así, veremos como en función del tamaño del nanomaterial, este puede o no penetrar a través de la piel, llegar a una zona determinada del pulmón o ser susceptible de entrar en la corteza cerebral.

Los alumnos fabricarán (se sugiere que los estudiantes traigan parte del material preparado o se les suministre para que la sesión no resulte muy larga y se pueda



discutir) y trabajarán con un sencillo juego de bolas y agujeros los cuales tendrán diferentes tamaños (explícitamente numerados) y donde sólo determinadas bolas (canicas pequeñas que simularán nanopartículas de tamaño igual o menor a 100nm) podrán entrar en determinadas zonas del cuerpo humano (principalmente la piel, el pulmón y el cerebro a través de la nariz). Las canicas grandes simularán partículas superiores a 100 micrómetros de diámetro, las cuales no pueden penetrar en determinadas zonas del cuerpo humano.

Esta actividad propone combinar una actividad práctica no vinculada a la nanotecnología, con una actividad teórica vinculada a la nanotecnología, de esta manera los alumnos podrán ir interiorizando conceptos de nanotecnología (en este caso sobre sus riesgos y vías de exposición) de una manera indirecta y relajada.

### **Preparación de los materiales**

Con anterioridad a la actividad en sí misma, en el taller de pretecnología el profesor o los alumnos fabricarán el juego siguiendo los pasos descritos a continuación.

#### Paso 1. Preparación de la estructura soporte del juego.

Se realizarán dos superficies de juego separadas, una correspondiente a la parte de la cabeza y otra correspondiente al sistema respiratorio. Para cada una de ellas, se partirá del cartón de 40x40cm. Sobre uno de ellos se dibujará el perfil de una cabeza humana y sobre el otro, el esquema del sistema respiratorio. Se incluyen dos diseños tentativos para ejemplificar estos diseños; así, se puede copiar el diseño propuesto o bien utilizar otro a elección de los alumnos.

#### Paso 2. Realización del laberinto

Pegamos dos pequeñas patas en los dos vértices superiores de los laberintos, de manera que se cree una determinada pendiente que fuerce las canicas a descender a través del laberinto. Este paso puede simplemente eliminarse e inclinar el laberinto con la mano cuando se vaya a utilizar.

- a) Dibujamos el diseño del laberinto correspondiente a la cabeza y al sistema respiratorio con rotulador sobre el cartón (previamente se habrá dibujado encima del mismo el contorno de la cabeza y de los pulmones. Se adjunta un diseño tentativo para el laberinto. Si se quisieran diseñar laberintos diferentes, simplemente hay que tener en cuenta que las canicas más pequeñas deben ser del tamaño adecuado para que puedan pasar a través de las ranuras dejadas por el laberinto y alcanzar las zonas correspondientes al cerebro y a la zona de los alveolos pulmonares.
- b) Pegamos los palitos de helado o bien los lápices encima de las rayas correspondientes al diseño del laberinto. De este modo, se creará un laberinto en relieve para que las canicas cambien su dirección a medida que se deslicen sobre

él. Para ello utilizaremos cola blanca, que dejaremos secar hasta que el laberinto sea suficientemente rígido.

### **Segunda fase: Desarrollo del juego**

Cada jugador dispone de tres tiros, desde la marca de inicio, usa el palito de helado impulsar las canicas hacia los agujeros en la caja. Si se logra con éxito introducir las cinco canicas en un solo turno, gana 500 puntos. Si logra introducir 3 canicas en un turno gana 300 puntos.

### **Preguntas que deben proponerse a los alumnos**

- ¿Cuál es la relación entre el tamaño nano y su posible entrada en el cuerpo humano?
- ¿Cuál es el tamaño de una nanopartícula?
- ¿Cuáles son las vías de entrada más probables si estamos expuestos a nanopartículas?
- ¿Hasta dónde puede penetrar una nanopartícula en el pulmón?
- ¿Hasta dónde puede penetrar una nanopartícula en la piel?
- ¿Hasta dónde puede penetrar una nanopartícula si se inhala?

### **Debate sobre los puntos de vista expuestos**

A través de esta actividad se podrá debatir sobre los riesgos asociados a la exposición a las nanopartículas debido a su tamaño. Veremos las vías de exposición más probables y debatiremos como en función del tamaño nano, la entrada de la partícula puede ser una u otra.

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

Una vez concluida la actividad se abordara las implicaciones de trabajar con tamaño nano sin medidas de protección (guantes, mascarillas, etc.). Para poderlo explicar visualmente, se taparan los orificios del juego con plástico y se explicara como los guantes, las mascarillas y las correctas medidas de protección pueden impedir o minimizar los riesgos.

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

Durante la fabricación del juego se deberán tomar las precauciones estándar que se establecen en talleres donde se manejan diversas herramientas cortantes.

## REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN

- [http://www.nanotech.ucsb.edu/images/stories/NanoTechPDF/EducationPDF/RETpdf/RET2009/hayes\\_nanoparticle\\_pollutants\\_lab\\_tpg.pdf](http://www.nanotech.ucsb.edu/images/stories/NanoTechPDF/EducationPDF/RETpdf/RET2009/hayes_nanoparticle_pollutants_lab_tpg.pdf)
- [http://www.nanotech.ucsb.edu/images/stories/NanoTechPDF/EducationPDF/RETpdf/RET2009/hayes\\_nanoparticle\\_pollutants\\_lab\\_sw.pdf](http://www.nanotech.ucsb.edu/images/stories/NanoTechPDF/EducationPDF/RETpdf/RET2009/hayes_nanoparticle_pollutants_lab_sw.pdf)
- [http://www.nanotech.ucsb.edu/images/stories/NanoTechPDF/EducationPDF/RETpdf/RET2009/hayes\\_nanoparticle\\_pollutants\\_lab\\_swak.pdf](http://www.nanotech.ucsb.edu/images/stories/NanoTechPDF/EducationPDF/RETpdf/RET2009/hayes_nanoparticle_pollutants_lab_swak.pdf)
- [https://www.larioja.org/npRioja/cache/documents/557016\\_NANOPARTICULAS.pdf;jsessionid=BF6B812EFF0F6F21A05C8C35C0489A70.jvm3](https://www.larioja.org/npRioja/cache/documents/557016_NANOPARTICULAS.pdf;jsessionid=BF6B812EFF0F6F21A05C8C35C0489A70.jvm3)
- [http://www.cdc.gov/Spanish/niosh/docs/2008-112\\_sp/](http://www.cdc.gov/Spanish/niosh/docs/2008-112_sp/)
- <http://discovermagazine.com/galleries/zen-photo/n/nanotech-products>

## MATERIALES COMPLEMENTARIOS

Los Materiales Complementarios de esta ficha se incluyen a continuación. También se incluye un fichero Power Point con un juego para entender las vías de exposición a las nanopartículas.

## FICHA V.4 - MATERIALES COMPLEMENTARIOS

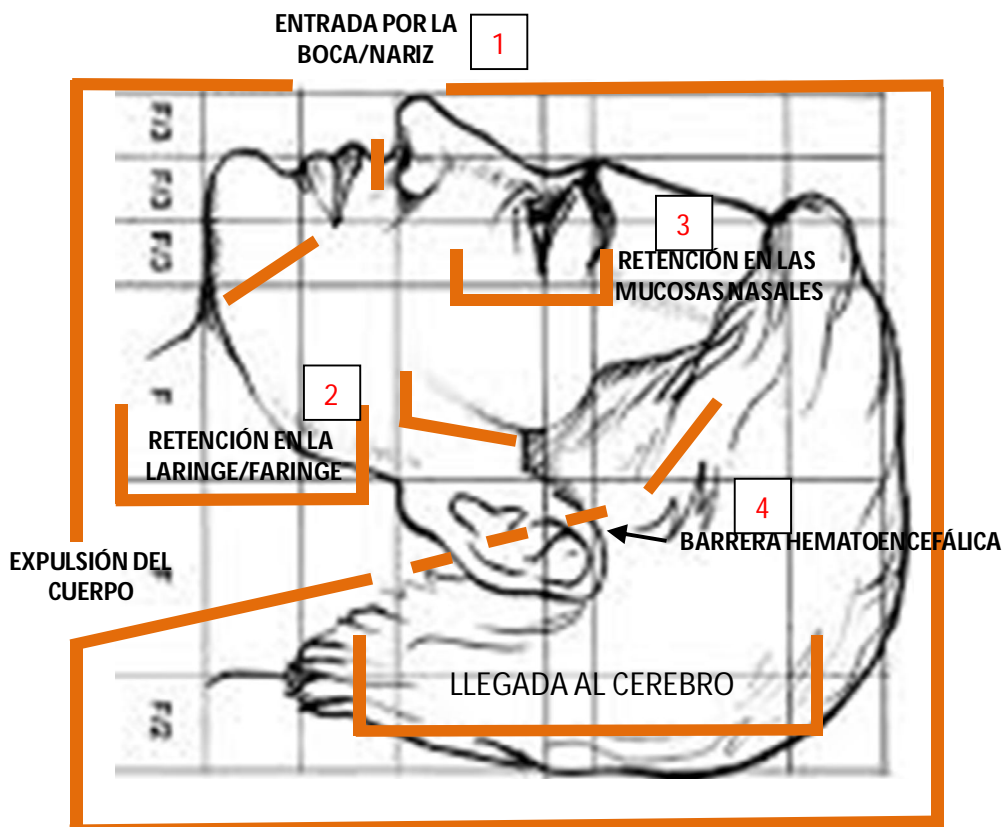
### CARTEL DE AYUDA PARA ILUSTRAR EL TAMAÑO TÍPICO DE LOS OBJETOS EN LA NANOESCALA



Figura 6. De lo "nano" a lo "macro" pasando por lo "micro"

## DISEÑO DEL LABERINTO

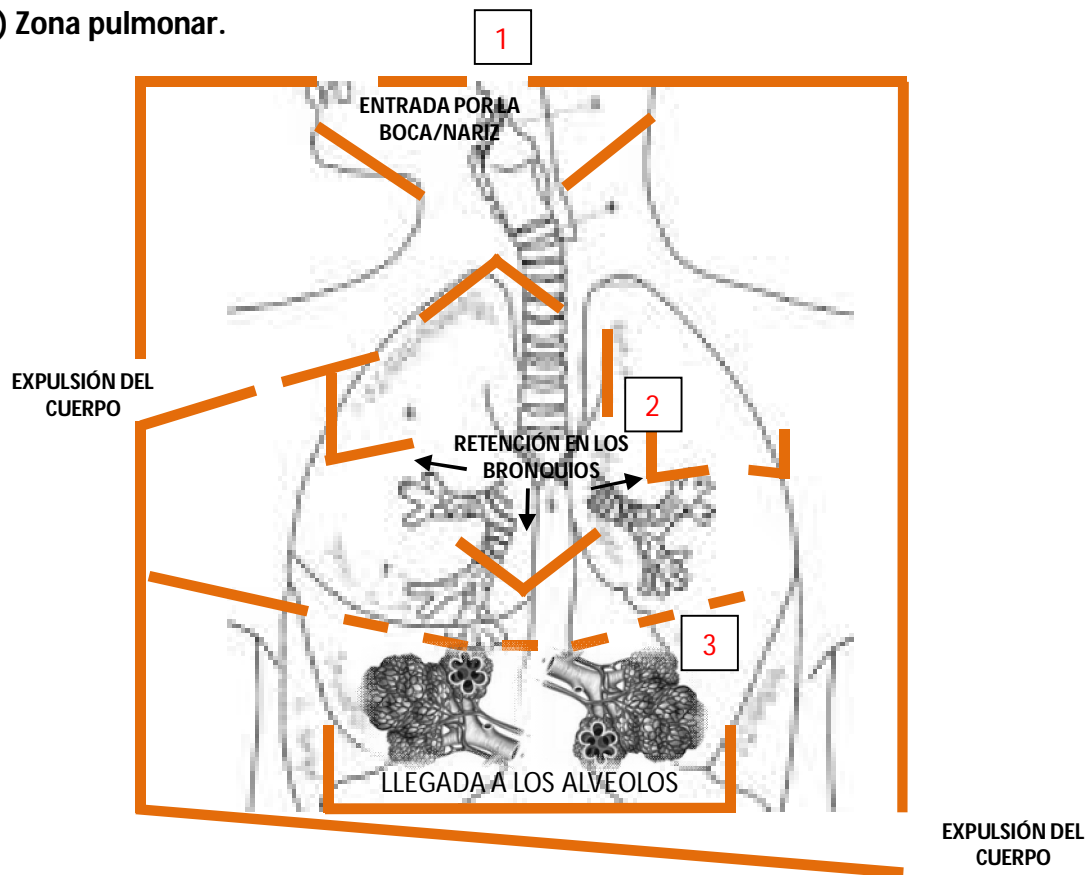
### a) Zona cerebral.



Tamaño de las canicas usadas en relación con el tamaño del laberinto y los diferentes huecos

La imagen corresponde a las zonas de localización de las canicas en el laberinto y corresponden con zonas de nuestra cabeza. La zona de entrada es la boca/nariz y en el laberinto corresponde al punto 1. La canica una vez supera el punto 1, se puede depositar (en función de su tamaño) en las zonas interiores de la cavidad nasal: Laringe/faringe (punto 2), mucosas nasales (punto 3) o en la barrera hematológica (punto 4), la cual únicamente será superada por las canicas de tamaño inferior, que simulan las nanopartículas de tamaño inferior a 100nm.

b) Zona pulmonar.



La imagen corresponde a las zonas de localización de las canicas en el laberinto y corresponden con el recorrido que hace el aire desde su entrada por la boca/nariz, hasta su llegada a los pulmones. La zona de entrada es la nariz y en el laberinto corresponde al punto 1. La canica, una vez supera el punto 1, se puede depositar (en función de su tamaño) en los bronquios (punto 2) o puede llegar a los alveolos (punto 3), los cuales únicamente serán atravesados por las canicas de tamaño inferior, que simulan las nanopartículas de tamaño inferior a 100nm.

## **JUEGO PARA ENTENDER LAS VÍAS DE EXPOSICIÓN A LAS NANOPARTÍCULAS.**

En los Anexos de la presente Guía Didáctica se incluye un fichero Power Point con nombre "Anexos - Ficha Didáctica – V.4 – MC.ppt" con un juego de preguntas y respuestas tipo test (formato 50 x 15) para realizar por el profesorado, ya que de esta manera puede entender mejor las vías de exposición cuando se manipulan nanopartículas. El juego a su vez, puede ser utilizado por alumnos de 14 a 18 años con conocimientos en nanopartículas.

### **¿Dónde se puede obtener más información sobre seguridad laboral en la manipulación de nanopartículas?**

Las siguientes fuentes proporcionan mayor información sobre las prácticas seguras de nanotecnología en el lugar de trabajo:

- Portal del Riesgo Químico del <http://www.insht.es/portal/site/RiesgosQuimicos/> del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Elegir las opciones "Agentes, sectores y riesgos específicos" -> "Nanopartículas".
- "Exposición laboral a nanopartículas" elaborado por el Servicio de Prevención y Salud Laboral de Madrid (CSIC). Accesible en <http://www.igml.csic.es/prevencion-csic>
- "La nanotoxicología y la evaluación del riesgo de las nanopartículas artificiales (ERNA)", L. Tran y J.M. Navas Antón, Seguridad y Medio Ambiente Año 29, N° 114, Segundo trimestre (2009). Accesible en <http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/seguridad/n114/articulo1.html>
- Enfoques para una práctica segura de la nanotecnología: un intercambio de información con NIOSH [[www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/safenano/](http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/safenano/)] (en inglés).
- Sitio web de NIOSH sobre nanotecnología: [www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/](http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/) (en inglés).
- En el buscador de documentos de la Fundación MAPFRE (<http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/consulta/busqueda.cmd>) se pueden encontrar decenas de referencias sobre la seguridad de las nanotecnologías. Se debe buscar la palabra "nanotecnología".





# **ASPECTOS ÉTICOS Y SOCIALES DE LA NANOTECNOLOGÍA: NANOPÁNICO O NANOEUFORIA**

J. Mendoza\*, J. Díaz-Marcos, G. Oncins, S. Estradé

Centros Científicos y Tecnológicos de la Universidad de Barcelona (CCiTUB)

C/ Solé i Sabarís 1-3, 08028, Barcelona, España

\*Correo electrónico autor de contacto: [mendoza@ccit.ub.edu](mailto:mendoza@ccit.ub.edu)

## **FICHA V.5**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

Después de una breve introducción a la bioética, se dará repaso a algunos de los retos ético-sociales planteados a raíz del debate sobre el desarrollo nanotecnológico: Los escenarios fatalistas o utópicos, la eugenesia, la contaminación ambiental, la toxicidad, etc. Y para ello se trabajará a partir de algunos textos que abordan el tema presentando supuestos muy sugerentes para el alumnado: nano-robots, mejora de la especie humana (transhumanismo), escenarios posibles del fin del mundo, etc. Así, a propósito de la discusión de estos sugestivos temas, se podrán contrastar perspectivas diversas y, de ese modo, fomentar una visión crítica y reflexiva tanto de las aportaciones de la ciencia y la tecnología como de sus implicaciones éticas y sociales más realistas y urgentes de abordar.

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- El objetivo general es fomentar la discusión sobre temas transversales entre ciencia, tecnología y filosofía.
- Poner en relieve la importancia de los avances científicos y tecnológicos en el progreso social.
- Aclarar algunos conceptos éticos básicos aplicables a la nanotecnología, poniendo énfasis en la interdisciplinariedad.
- Focalizar los aspectos más significativos del debate alrededor de la nanotecnología y sus aplicaciones.

- Valorar implicaciones éticas y sociales de algunas aplicaciones de la nanotecnología con sentido crítico señalando la importancia de que participen en el debate todos los actores implicados.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 16-18**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: BAJO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 1,5 horas**

**ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Biología (Bachillerato)
- Filosofía

**CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Sería deseable que los alumnos tuvieran alguna noción de en qué consiste la biotecnología y sus principales aplicaciones biomédicas.

**OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Fichas V.3 y V.4. En caso de no haber realizado previamente las actividades V3 y V4 es recomendable la lectura de las páginas 3 a 14 del texto "Ética y política de la nanotecnología", ver enlace y referencia completa en Materiales de referencia y apoyo de esta ficha (Ficha Didáctica – MC – v4.doc).

**MATERIALES**

- PC con acceso a internet
- Materiales complementarios: Selección de textos (ver última sección del documento)

**DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

**Parte 1. Aclaración de conceptos clave (ética, ciencia, tecnología) e introducción de la bioética.** (Duración: 30 minutos.)

Se comenzará la actividad preguntando a los alumnos por los conceptos de ética, ciencia, tecnología y, finalmente sobre la relación mantienen entre sí. Seguidamente, a propósito de la discusión conceptual se introducirá la Bioética como ejemplo de disciplina multidisciplinar que aborda las cuestiones éticas surgidas a raíz de los avances científicos y tecnológicos. Y, a continuación, se presentará el texto sobre bioética (Texto 1 de los Materiales Complementarios (MC)) que servirá de introducción a los principios bioéticos propuestos en el manual más conocido y utilizado en el campo de la Bioética, es decir, el libro “Principios de ética Biomédica” de los norteamericanos T. L. Beauchamp y J. Childress.

El término bioética fue utilizado por primera vez en 1971 por el bioquímico Van Rensselaer Potter, en su libro “La bioética: Un puente hacia el futuro”. Potter apeló a la necesidad de crear una disciplina de carácter integrador que estableciera puentes entre el enorme desarrollo científico-tecnológico y las humanidades para, de ese modo, poder afrontar las responsabilidades que conllevan las nuevas posibilidades del conocimiento científico. Y, también a principios de los años 70, el gobierno de los Estados Unidos, a raíz de la preocupación suscitada por experimentos llevados a cabo décadas atrás, constituyó una Comisión Nacional para el estudio de las cuestiones éticas relacionadas con la investigación médica en sujetos humanos. El cometido era identificar principios éticos básicos que se tuvieran presente en los experimentos con humanos. La Comisión estaba formada por miembros procedentes del campo médico, jurídico y filosófico, con diferentes planteamientos morales y religiosos. Y en 1979 se publicó como resultado el llamado informe Belmont que recogía los principios éticos básicos que se consideraban más ampliamente aceptados en la tradición occidental y, de ese modo, la Comisión señaló tres principios relevantes para la investigación sobre sujetos humanos: el respeto de las personas, la beneficencia y la justicia.

Beauchamp y Childress, en sus “Principios de Ética Biomédica” publicado en 1979 recogen los mismos principios éticos del Informe ampliados a cuatro, modificando el principio de respeto a las personas por el de autonomía y añadiendo el de no maleficencia. Ellos tratan de abordar de manera más amplia la relación médico-paciente, los problemas éticos en torno al aborto, el final de la vida, el tratamiento de enfermos mentales, transplantes, etc. con la pretensión de que sirvan también para el resto de cuestiones médicas. Su intención era, en primera instancia, elaborar una ética aplicada a la biomedicina, dirigida a los profesionales de la salud, ofreciendo una herramienta aplicable sin necesidad de conocimientos filosóficos previos.

Los principios bioéticos presentados son los resumidos a continuación:

- Principio de autonomía: Respeto a la autonomía que se entiende por la capacidad de tomar decisiones por uno mismo, por autogobernarse sin injerencias externas.
- El principio de beneficencia: Expresa la obligación de beneficiar o hacer el bien. Se debe actuar procurando el bienestar de las personas, la obtención de los máximos beneficios posibles, evitando riesgos innecesarios
- El principio de no maleficencia: Expresa la obligación de no producir un daño de manera voluntaria, siguiendo la máxima aplicada en medicina de *Primum non nocere* (lo primero es no hacer daño).
- El principio de justicia: Contempla que todo individuo tiene derecho al trato igualitario como los demás seres humanos, sin importar las condiciones de su vida, de su salud, de sus creencias o de su posición económica. Manteniendo, así, la imparcialidad en la distribución de cuidados y recursos, de beneficios y riesgos.

Debido a ser tan generales, estos principios fueron muy criticados, aunque los autores respondieron que, a través de la deliberación y la ponderación, era necesario concretarlos en reglas o normas concretas. Así, la idea sería otorgar la obligación por igual a todos los principios, sin que ninguno de ellos tenga prioridad sobre el resto. De manera que, únicamente a partir de las situaciones concretas, evaluando las circunstancias y las posibles consecuencias podrían ordenarse de manera jerárquica. Es decir, que en caso de conflicto entre principios habría que deliberar y ponderar la situación concreta para establecer el orden de prioridad.

La bioética en la actualidad, aunque todavía en el ámbito biomédico conserva la orientación descrita, también tiende a incluir cuestiones como la sostenibilidad, las problemáticas ambientales, la repercusión de los nuevos conocimientos científicos y tecnológicos en el individuo y la sociedad, etc. Y, en líneas generales, también se ocupa de la influencia social y política de las cuestiones anteriores (legislación, políticas sanitarias, políticas educativas, etc.)

Nota: Opcionalmente, el profesor también podrá comentar por qué la bioética de "principios" se considera fundamentada en la corriente deontologista o kantiana y en la utilitarista. Y, todo ello podría dar ocasión, por ejemplo, tanto para definir el utilitarismo, como para mostrar de qué manera remite a la tradición empirista inglesa que a partir de Hume se expresó en el pensamiento de Jeremy Bentham y de John Stuart Mill.

Preguntas que pueden proponerse a los alumnos (sobre el Texto 1 de los MC):

- ¿Por qué la autora señala el principio de autonomía como aquel que afecta a la manera de interpretar y aplicar todos los demás principios bioéticos?

- ¿Explica en qué medida el principio de autonomía ayuda a superar una visión paternalista de la relación médico-paciente y en el ámbito sanitario en general?
- ¿Cómo definirías la calidad de vida? ¿Cómo podría afectar la situación socioeconómica y/o cultural a la noción de calidad de vida?
- ¿Qué creencias de un paciente consideras que podrían comportar un conflicto bioético? ¿Qué principio o principios se verían afectados?

**Parte 2. Presentación de los Textos 2 y 3 del Material Complementario.** (Duración: 30 minutos)

Se presentará a los alumnos la selección de varios fragmentos del libro de Eric Drexler "La Nanotecnología: el surgimiento de las máquinas de creación" (Textos 2 y 3 de los Materiales Complementarios), una de las obras que ha generado más discusión y debate alrededor de las posibilidades de la nanotecnología:

K. Eric Drexler es un científico estadounidense que desató un fuerte debate a raíz de la publicación de una revisión de su tesis doctoral realizada en el MIT "Nanosystems Molecular Machinery Manufacturing and Computation", donde especulaba sobre el alto potencial de la nanotecnología aplicada a la manipulación molecular, tanto desde un punto de vista utópico (grandes avances en biomedicina), como distópico (plaga de nanorobots replicantes que podrían provocar el fin del mundo).

El autor llega a pronosticar que, en un futuro próximo, se podrá llegar a fabricar prácticamente cualquier cosa una vez conseguida la manipulación molecular: a través de ensambladores que trabajarían a escala nanométrica, se podría reconstruir cualquier objeto, ya sea orgánico o inorgánico. Y, en consecuencia, en función de su uso, esta tecnología podría implicar grandes progresos aunque también grandes desajustes sociales.

Nota: A partir de la lectura de los dos textos, el alumno deberá identificar y debatir algunas de las cuestiones éticas y sociales implicadas. Y, para ello, se podrán distribuir los textos en dos grupos (uno defendiendo una posición utópica y el otro la distópica) para después generar un debate con diversas perspectivas y posicionamientos.

Asimismo, el profesor tendrá ocasión de continuar comentando el pensamiento utilitarista de Stuart Mill., en este caso por su acuñación del término distopía. Alternativamente o complementariamente se puede introducir la crítica del utopismo de Karl Popper.

Preguntas que pueden proponerse a los alumnos (sobre el Texto 2 de los MC):

- ¿De qué forma puede afectar socialmente la mejora de la especie humana?
- Eugenesia: ¿Qué parecido encuentras entre manipulación genética y la manipulación molecular o atómica nanotecnológica?
- De los principios bioéticos referidos anteriormente ¿Cuáles se verían afectados más directamente en el escenario futuro que propone el texto de Drexler?
- ¿De qué manera la manipulación atómica que lleva a cabo la nanotecnología puede considerarse una alteración de la naturaleza o del orden natural? ¿Cómo podría entrar en conflicto con la religión?
- ¿Cómo puede afectar al principio de justicia el desarrollo nanotecnológico aplicado a la medicina?

Preguntas que pueden proponerse a los alumnos (sobre el Texto 3 de los MC):

- ¿De quién crees que sería la responsabilidad en caso de un desastre como el que plantea el autor del texto?
- ¿La sociedad civil en general debería participar activamente en las decisiones que afectan a la investigación científica? (Razona la respuesta)
- ¿Cómo debería gestionarse el gasto para investigación de aplicación militar?
- ¿Qué organismo o institución debería controlar las inversiones públicas en nanotecnología?

**Parte 3. Debate final y conclusiones a partir de los resultados de la discusión (Texto 4 de los MC).** (Duración: 30 minutos)

El comentario de este texto elaborado por la UNESCO permitirá mantener una distancia crítica con las posiciones más radicalmente utópicas o fatalistas propuestas en los textos de Drexler. De ese modo, el profesor discutirá sobre el gran potencial de avance nanobiomédico del texto 2, contrastándolo con el texto 4, poniendo en relieve la diferencia entre un escenario probable que requiere una reflexión para tomar decisiones concretas y un escenario meramente especulativo, prácticamente de ciencia ficción.

El texto seleccionado critica abiertamente la distorsión que genera en el debate ético las tesis excesivamente especulativas como la de Drexler. Alternativamente propone centrar los esfuerzos en reflexionar y discutir sobre cuestiones más realistas ya bien presentes: la posible toxicidad de los nanomateriales, los riesgos de contaminación medioambiental, el etiquetado y la reglamentación de productos, la propiedad intelectual, las patentes y la distribución equitativa del conocimiento, etc.

Preguntas que pueden proponerse a los alumnos (sobre el Texto 4 de los MC):

- ¿Qué aportaciones importantes crees que pueden realizar organismos internacionales como Naciones Unidas al ocuparse de orientar el proceso de desarrollo de tecnologías emergentes como la nanotecnología?
- ¿Qué relación crees que existe entre la defensa de los derechos humanos y el desarrollo nanotecnológico?
- ¿En qué ámbitos crees más necesario que se investiguen aplicaciones de la nanotecnología? Jerarquiza los ámbitos según la mayor repercusión en la calidad de vida de las personas.

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

- Búsqueda en Internet de ejemplos en literatura de ficción, cine, videojuegos, series de televisión, etc. que incluyan la nanotecnología en sus escenarios utópicos y/o distópicos.
- Búsqueda en internet de ejemplos de aplicaciones actuales de nanomateriales en medicina.
- Visionar una película de ciencia ficción donde se muestre un escenario utópico o distópico para comentar aspectos éticos más destacables análogos a los planteados en la actividad. (ej. Transcendence, La Isla, Gattaca, Blade Runner, Matrix, etc.)

## **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

El desarrollo de esta actividad no conlleva riesgos.

## **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

- Boladeras, M., "Bioética y Calidad de vida", Colección Bíos y Ethos, Ediciones El Bosque, Santafé de Bogotá, 2000, Págs. 44-48

Accesible en

<http://www.bioeticaunbosque.edu.co/publicaciones/biosyethospdf/BiosyEthosvol15.pdf>)

- Drexler, E., "La Nanotecnología: el surgimiento de las máquinas de creación", Gedisa, 1993
- "Ética y política de la nanotecnología", UNESCO, París, 2007 (<http://www.bioeticanet.info/documentos/UnescoEtyPolNanotecnol.pdf>)

- Beauchamp, T. L. y Childress, J., "Principios de ética biomédica", Barcelona, Masson, 1999
- Buxó, María Jesús., "Dialogar la nanoética", Revista de Bioética y Derecho [online]. 2008, no. 12, Págs. 12-16

Accesible en

<http://www.raco.cat/index.php/RevistaBioeticaDerecho/article/view/124496/172521>

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Se proporciona un material complementario consistente en un conjunto de textos que permitirán apoyar las explicaciones del docente. El fichero que contiene este material complementario se encuentra en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denomina "Anexos - Ficha Didáctica – V.5 – MC.doc".



## **IMPLICACIONES SOCIALES, RIESGOS, PRECAUCIÓN, NORMATIVA**

H. Jaramillo <sup>(1,2,\*)</sup>, D. Álvarez <sup>(1)</sup>, C. Duque<sup>(3)</sup>, R. L. Restrepo<sup>(3,4)</sup>, A. Morales<sup>(3)</sup>

(1) I. E. R. El Tambo, San Pedro de los Milagros, Antioquia Colombia.

(2) Politécnico Jaime Isaza Cadavid, Colombia.

(3) Grupo de Materia Condensada UdeA, Instituto de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia, Colombia.

(4) Escuela de Ingeniería de Antioquia, Colombia.

\*Correo electrónico autor de contacto: [hjaramillolopez@gmail.com](mailto:hjaramillolopez@gmail.com)

### **FICHA V.6**

#### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

La actividad tiene como objetivo hacer un breve recorrido teórico crítico y comprensivo por las implicaciones sociales, la poca o escasa normatividad, los riesgos y precauciones que debemos tener en los procesos que se vienen desarrollando en el mundo de la ciencia en este caso en la investigación de la *nanociencia* y la *nanotecnología*; situación que nos exige informarnos, tomar precauciones y asumir responsabilidades que redunden en la protección ambiental y con ello del mundo que habitamos, es necesario afirmar que la cultura, las normas sociales, la moral y la ética en las cuales América latina está inmersa tiene la urgencia de movilizarse para adecuarse a una sociedad del conocimiento, la ciencia que trae tanto beneficios como grandes retos sociales. Para el desarrollo de la actividad se empleará una *adaptación del seminario alemán*, donde los estudiantes traerán textos con lectura previa y una relatoría elaborada, al inicio de la sesión se nombran tres protocolantes según orientaciones, se realizan una exposición colectiva; las intervenciones aclaratorias del docente pero con participación muy activa de los estudiantes, motivados desde la pregunta problematizadora y buscando la participación propositiva de los estudiantes, al inicio de la sesión siguiente se leerá la producción colectiva elaborada por los estudiantes y aprobada por el colectivo de los estudiantes.

#### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- Identificar los referentes teóricos de las regulaciones internacionales e implicaciones sociales, culturales, económicas y ambientales de las acciones investigativas de la nanociencia y la nanotecnología.
- Relacionar algunas normatividades internacionales con los descubrimientos actuales tanto de la nanotecnología como de la nanociencia.
- Riesgos y beneficios ambientales de la nanociencia y la nanotecnología y sus implicaciones para América Latina.

### **EDADES DE LOS ALUMNOS: 16-18**

### **NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: BAJO**

### **TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 2 horas**

### **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Biología (Bachillerato)
- Matemáticas
- Tecnología
- Filosofía
- Ética
- Religión

### **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los estudiantes deben estar familiarizados con conceptos como: efectos económicos y sociales de los descubrimientos científicos; impactos ambientales de los descubrimientos científicos casos: energía nuclear, energía alternativa (eólica, solar entre otras); revolución de la investigación microbiológica, investigación en nanociencia y nanotecnología, escalas nanométricas, manipulación genética, investigación molecular.

Es importante también que los estudiantes estén familiarizados con conceptos como los valores, las normas, la moral y la ética, con referentes importantes de los Derechos Humanos, con organismos tanto nacionales como internacionales encargados de las regulaciones éticas de los procesos científicos del mundo.

### **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

Se recomienda haber desarrollado antes de iniciar el desarrollo de esta guía, las fichas de trabajo relacionadas con temas como: nanoescala, construcción de materiales nanomateriales y nano dispositivos, fundamentos de los procesos de investigación en nanociencia y luego el desarrollo de la ficha sobre las implicaciones sociales como también realizar lectura sobre principios esenciales que protegen la vida humana desde los Derechos Humanos de segunda generación, donde se hace énfasis sobre la protección ambiental y con ello de toda la expresión de vida y el entorno y donde el hombre se referencia como parte del medio natural

## **MATERIALES**

- PC con acceso a internet.
- Fotocopias que permitan conformar equipo de tres personas en cada una referentes conceptuales que establezcan la siguiente estructura secuencial: cultura, valores, normas, moral, ética y Derechos Humanos; la lectura asociada y colaborativa permite mejor comprensión de los contenidos, con ello mejor y más calidad en las intervenciones de los/las estudiantes. Estos textos están referenciado en los Materiales Complementarios señalados al final de esta ficha.
- Documentos para trabajar de manera colaborativa entre los/las estudiantes y permiten ser base argumentativa de los referentes sobre regulaciones políticas de la investigación en nanociencia y nanotecnología y de esta manera se centraliza y se enriquece la producción desde el aportes de todos.
- Grabadora de audio.
- *Video beam* / Cañón de proyección.

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

### **Sesión I**

Los estudiantes deben realizar en sus casas una lectura previa sobre los textos recomendados (Derechos Humanos; cultura, valores, normas, moral y ética; normatividad internacional sobre investigación en nanociencia y nanotecnología). También realizarán una relatoría o informe de lectura con los siguientes parámetros (si el docente considera puede agregar otros aspectos):

1. Tesis del texto leído
2. Argumentos que sustentan la tesis del autor
3. Conceptos aprendidos

Nota: Es recomendable que el trabajo de los estudiantes no sea mayor a tres cuartillas u hojas con normas APA.

### **Sesión II**

- Se nombran los relatores y se les facilita tanto *audio grabadora* como hojas para toma de nota, esta técnica permite recopilar adecuadamente notas e información que ayuda en la construcción del protocolo.
- Distribuir en el salón de manera circular a los estudiante. Nombrar un estudiante como orientador de la clase.
- Al inicio de la sesión hacer lectura pausada y en voz alta de algunas relatorías para ambientar el tema de las normas, implicaciones sociales, riesgos y precauciones que se deben tener en las investigaciones que se realizan tanto en la nanociencia como en la nanotecnología.
- El docente debe procurar que se cumpla con el recorrido teórico propuesto, haciendo intervenciones que lo permita.
- El docente debe incentivar la intervención de los estudiantes permitiéndoles que sean ellos los que lleven el peso de la discusión, hacerles preguntas y hacer precisiones como también ampliar conceptos recordándoles que todos, incluidos el docente son responsables de la construcción teórica grupal.
- Cuando el docente visualiza que los estudiantes están agotando recursos conceptuales debe asumir la dirección conceptual de la clase para darle un sentido y dejar preguntas e inquietudes que todos deben resolver en sus vidas cotidianas (implicaciones favorables y sensibles, riesgos, precauciones y normas por construir que permitan proteger la vida humana de procesos tan sensibles para el entorno natural como lo es la investigación tanto de la nanociencia como de la nanotecnología.
- Con el protocolo socializado y aprobado por todos los estudiantes, en la sesión siguiente el docente puede realizar una actividad de difusión de los conceptos construidos en la clase, empleando medios como el periódico escolar, carteleras o realizando un concurso de oratoria o conversatorios, donde participen todos los estudiantes y donde los protocolantes lleven a la comunidad estudiantil en general, reflexiones críticas sobre el tema trabajado, las urgencias del saber y la ciencia y a su vez de la humanidad. La configuración del aula durante las ponencias puede tener el formato de presidencia con ponentes y auditorio.

## **PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD**

El desarrollo de los procesos autónomos de formación de los/las estudiantes entre otras, parte de las actividades académicas que desarrollan por fuera de la institución educativa y de manera auténtica a partir de los centros de interés de ellos/ellas; por lo anterior se sugiere que el procesos permanente de formación y difusión sobre nanociencia y nanotecnología (peligros y avances, nuevas reglamentaciones entre otras), permita que los estudiantes elaboren informes de lectura de artículos de prensa relacionados tanto con los temas trabajados en clase como de los informes sobre innovaciones y nuevos descubrimientos científicos (al final se relaciona bibliografía de algunas revistas y periódicos pertinentes para lecturas cotidianas).

Los informes autónomos deben ser revisados por el/la docente periódicamente e incluso motivados como actividad importante en el desarrollo intelectual de los estudiantes.

## PRECAUCIONES Y SEGURIDAD

Dadas las características de esta actividad (teórica, reflexiva e intelectual) su desarrollo no conlleva riesgos.

## REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN

- <http://www.tareasya.com.mx/index.php/tareas-ya/secundaria/espanol/tecnicas-de-exposicion/1704-Mesas-redondas,-organizaci%C3%B3n-y--material..html>
- Merino, Eduardo Salvador Vila. "Educar en valores, educar por los derechos humanos: la reflexión y el diálogo como estrategias mediadoras para la prevención y resolución de conflictos." Revista Iberoamericana de Educación 37.5 (2005): 4.
- <http://sociologedu.wordpress.com/extras/ciencia-desigualdad-y-elites/>
- [http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia-responsable/riesgos\\_nanotecnologia.htm](http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia-responsable/riesgos_nanotecnologia.htm)
- <http://cmap.upb.edu.co/rid=1GCFQ589B-RNNRQV-97/eticaymoral%20s%C3%ADntesis.pdf>

El desarrollo de actividades que fortalezcan la discusión sobre procesos de formación en el ámbito de la ciencia, la nanociencia, la nanotecnología y sus procesos, las normatividades y los avances permanentes y cotidianos, exige una permanente lectura de periódicos y de revistas, es por ello, se anexa algunas direcciones de revistas y periódicos de buena dinámica en la información científica, se recomienda motivar a los estudiantes a leerlos de manera autónoma, también se recomienda llevar a los estudiantes a leer de manera colectiva desde los dispositivos de celular o computadores y en internet dichos periódicos o revistas, presentaran informe de lectura y se socializaran las noticias y el centro de interés de ella.

- <http://www.elmundo.es/ciencia.html>
- <http://sociedad.elpais.com/tag/c/69e87c6ea32d8ce7fb8d7275a73a6f29/>
- <http://www.abc.es/ciencia/ciencia.asp>
- <http://www.lavanguardia.com/ciencia/index.htmlsus>
- <http://www.revistanano.org/>
- <http://www.revistas.unam.mx/index.php/nano>
- <http://www.mundonano.unam.mx/anteriores.php>
- <http://www.rednanocolombia.org/>
- <http://www.nanodyf.org/>

- <http://www.cytod.org/>

## **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

Se proporcionan tres ficheros Power Point que contienen diapositivas que permitirán apoyar al/ a la docente en el desarrollo de la Sesión I de esta Ficha Didáctica. Los tres ficheros se encuentran en los Anexos de esta Guía Didáctica y se denominan:

- "Anexos - Ficha Didáctica - V.6 – MC1.ppt"
- "Anexos - Ficha Didáctica - V.6 – MC2.ppt"
- "Anexos - Ficha Didáctica - V.6 – MC3.ppt"

# **EMPLEO DE PELÍCULAS DE CINE PARA ABORDAR LAS IMPLICACIONES ÉTICAS DE LA NANOTECNOLOGÍA EN LA SOCIEDAD**

J.R. Vega-Baudrit\*

Laboratorio Nacional de Nanotecnología LANOTEC, CeNAT CONARE

San José, Costa Rica.

\*Correo electrónico autor de contacto: [jvegab@gmail.com](mailto:jvegab@gmail.com)

## **FICHA V.7**

### **RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

La presente ficha de trabajo se enfoca hacia el empleo de películas que abordan la temática de nanotecnología y biotecnología en su trama. Implica el uso de una serie de cuestionamientos para la discusión, que servirían para enfocar la temática de la ética en una sociedad del futuro.

### **OBJETIVOS DIDÁCTICOS**

- Emplear cortes cinematográficos de contenido futurista con el fin de abordar temáticas de aspecto social en un posible panorama futuro mundial.
- Generar discusión guiada de grupo sobre los aspectos éticos abordados en los cortes con el fin de aportar puntos a favor y en contra sobre los puntos observados durante el film.

**EDADES DE LOS ALUMNOS: 14-18**

**NIVEL DE DIFICULTAD DE LA ACTIVIDAD: BAJO**

**TIEMPO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD: 3 horas**

### **ASIGNATURAS EN LAS QUE SE PUEDE INSERTAR ESTA ACTIVIDAD**

- Ciencias de la Naturaleza (Ed. Secundaria)
- Física y Química (Ed. Secundaria)
- Física (Bachillerato)
- Química (Bachillerato)
- Biología (Bachillerato)
- Geología (Bachillerato)
- Tecnología
- Ciencias Sociales
- Filosofía

- Educación artística

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS QUE DEBEN POSEER LOS ALUMNOS**

Los alumnos deben estar familiarizados con los conceptos de átomos, moléculas e iones, tabla periódica y formulación química, así como manejar los conceptos de polímeros naturales, biodegradación, celulosas, entre otros. El estudiante debe poseer algunas destrezas manuales para el empleo de equipo básico de laboratorio, balanzas y tener los conceptos básicos de seguridad en el laboratorio.

## **OTRAS ACTIVIDADES DE ESTA GUÍA QUE ES RECOMENDABLE LLEVAR A CABO CON ANTELACIÓN**

No aplica.

## **MATERIALES**

- Proyector o televisión con sistema de video para ver películas.
- Películas que se recomiendan:
  - Gattaca
  - Divergencia
  - Hombre Bicentenario
  - Star Trek
  - Inteligencia Artificial (IA)
  - Minority Report
  - Un viaje fantástico
  - Matrix
  - Transcendence

Las películas pueden estar disponibles en video clubs, en filmotecas, o en las casas de algunos de los alumnos. Se pueden realizar descargas legales de muchas de ellas de sitios específicos de internet.

## **DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD**

### **Visión de la película.**

Se visualizará la película en el aula o en una sala acondicionada para este tipo de actividades.

### **Discusión de la película.**

Se habilitan tres grupos, un jurado, un grupo a favor y un grupo en contra, y se trabaja sobre las siguientes cuestiones:

- ¿Habrá que pagar algún precio moral por lo observado en la cinta?
- ¿Cuáles son las consecuencias de superar las fronteras del conocimiento más allá de lo que somos capaces de controlar o de prever?
  - Ej. Biotecnología e Ingeniería genética: células madre y con los transgénicos.



- ¿Existe realmente un riesgo ético o moral que pueda interferir en su desarrollo?
- ¿Hay fronteras que separen lo que somos capaces de asumir de lo que razonablemente se puede permitir?
- ¿Es éste un debate vacío fruto de los tiempos que corren?
- Se trabajará sobre este cuadro: el objetivo es identificar a la nanotecnología con los aspectos relacionados en las películas. Se trabajará en torno a 4 preguntas:

Temática a discutir	CONTENIDO DEL CONOCIMIENTO
1. CONOCIMIENTOS GENERADOS ACERCA DE LO QUE SUPUESTAMENTE YA SABEMOS.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EFECTOS DE LOS POLVOS, POLUCIÓN EN EL AIRE Y FIBRAS.</li> <li>• CÓMO CONTROLAR LAS PARTICULAS EN LOS LUGARES DE TRABAJO.</li> <li>• IMPORTANCIA DEL TAMAÑO, ÁREA SUPERFICIAL Y CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE.</li> <li>• SERIOS EFECTOS DE LAS NANOPARTICULAS EN LA SALUD DE LOS ANIMALES.</li> </ul>
2. CONOCIMIENTOS YA ESTABLECIDOS Y GENERADOS ACERCA DE LO QUE SUPUESTAMENTE <b>NO</b> SABEMOS AÚN.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TECNICAS DE MEDICIÓN Y CARACTERIZACIÓN.</li> <li>• PELIGROS DE NUEVAS PARTICULAS OBTENIDAS.</li> <li>• INTERACCIÓN CON CONTAMINANTES EN LOS LUGARES DE TRABAJO.</li> <li>• IMPORTANCIA EN LA EXPOSICIÓN DERMICA.</li> <li>• EFECTOS EN LA SALUD Y RIESGOS DE LOS TRABAJADORES.</li> <li>• POCA EFECTIVIDAD DE LOS CONTROLES.</li> <li>• RIESGOS EN LA SALUD DE LA FAMILIA DE LOS TRABAJADORES.</li> </ul>
3. CONOCIMIENTOS YA GENERADOS ACERCA DE LO QUE NO CREEMOS QUE YA SABEMOS.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GRAN EXPERIENCIA EN EL CONTROL DE SUSTANCIAS PELIGROSAS APLICABLES A LAS NANOPARTICULAS.</li> <li>• LECCIONES APRENDIDAS DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PREVIAS.</li> </ul>
4. CONOCIMIENTOS ACERCA DE LO QUE NO CREEMOS QUE <b>NO</b> SABEMOS AUN.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NUEVOS PELIGROS NO ANTICIPADOS.</li> <li>• NUEVOS CONTROLES NO ANTICIPADOS.</li> </ul>

### PROPUESTAS DE ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR POR LOS ALUMNOS EN EL AULA O EN SU CASA TRAS LA ACTIVIDAD

- Realizar una búsqueda bibliográfica de aspectos nanotecnológicos que han transgredido las fronteras de la ética. Por ejemplo, los materiales empleados como aislantes que terminaron produciendo cáncer pulmonar.

- Repetir la experiencia realizada en el aula empleando otras películas en torno al área de estudio. Sugerir otras películas conocidas por el estudiante y explicar su pertinencia con respecto a la nanotecnología.
  
- Establecer discusiones en torno a estos otros temas:
  - Salud
  - Aspectos regulatorios
  - Sociales
  - Políticos
  - Personales
  - Económicos
  - Religiosos

### **PRECAUCIONES Y SEGURIDAD**

El desarrollo de esta actividad no conlleva riesgos para su desarrollo.

### **REFERENCIAS DE APOYO Y DOCUMENTACIÓN**

Otras películas de las temáticas relacionadas con microorganismos y la biotecnología, su uso y las implicaciones de su abuso.

### **MATERIALES COMPLEMENTARIOS**

No se proporcionan materiales complementarios.

## **CAPÍTULO 5**

# **PERSONAS E INSTITUCIONES DE CONTACTO EN RELACIÓN CON LA DIVULGACIÓN Y LA FORMACIÓN DE LA NANOCIENCIA Y LA NANOTECNOLOGÍA**

### **I. PERSONAS DE CONTACTO**

#### **ARGENTINA**

Dra. María Elena Vela, INIFTA

[mevela@gmail.com](mailto:mevela@gmail.com)

Laura Toledo, FAN

[lauratoledo920@gmail.com](mailto:lauratoledo920@gmail.com)

#### **BOLIVIA**

Dr. Roberto Del Barco Gamarra, Universidad Técnica de Oruro

[roberto.delbarco@gmail.com](mailto:roberto.delbarco@gmail.com)

#### **BRASIL**

Dr. Alexys Bruno, UNESP

[alexys@fc.unesp.br](mailto:alexys@fc.unesp.br)

Dr. Paulo Noronha, UNESP

[plisboa@fc.unesp.br](mailto:plisboa@fc.unesp.br)

#### **COLOMBIA**

Dra. Ángela Camacho, UNIANDES

[acamacho@uniandes.edu.co](mailto:acamacho@uniandes.edu.co)

Dr. Carlos Duque, Universidad de Antioquia, UdeA

[cduque\\_echeverri@yahoo.es](mailto:cduque_echeverri@yahoo.es)

Dr. Jairo Giraldo, UNAL

[jjgiraldog@unal.edu.co](mailto:jjgiraldog@unal.edu.co)

Dr. Edgar González, Universidad Javeriana de Bogotá

[edgar.egonzale@gmail.com](mailto:edgar.egonzale@gmail.com)

## **COSTA RICA**

Dr. José Roberto Vega, LANOTEC

[jvegab@gmail.com](mailto:jvegab@gmail.com)

Dra. Alicia Rivera, LANOTEC

[adriveraa@gmail.com](mailto:adriveraa@gmail.com)

## **CUBA**

Dr. Carlos Rodríguez Castellanos, Universidad de La Habana

[crc@fisica.uh.cu](mailto:crc@fisica.uh.cu)

## **CHILE**

Dr. Ernesto Zumelzu, UACH

[ezumelzu@uach.cl](mailto:ezumelzu@uach.cl)

Dr. Ignacio Moreno Villoslada, UACH

[imorenovilloslada@uach.cl](mailto:imorenovilloslada@uach.cl)

## **ECUADOR**

Dr. Miguel Ángel Méndez, USFQ

[mmendez@usfq.edu.ec](mailto:mmendez@usfq.edu.ec)

## **ESPAÑA**

Dr. Joaquín Darío Tutor Sánchez, ETSI-ICAI, Universidad Pontificia Comillas, UPComillas

[jdtutor@upcomillas.es](mailto:jdtutor@upcomillas.es)

Dr. Pedro A. Serena, ICMM-CSIC

[pedro.serena@icmm.csic.es](mailto:pedro.serena@icmm.csic.es)

Dr. José Ángel Martín Gago, ICMM-CSIC

[gago@icmm.csic.es](mailto:gago@icmm.csic.es)

Dra. Agustina Asenjo Barahona, ICMM-CSIC

[aasenjo@icmm.csic.es](mailto:aasenjo@icmm.csic.es)

Dra. María de Mar García Hernández, ICMM-CSIC

[marmar@icmm.csic.es](mailto:marmar@icmm.csic.es)

Dra. M.C. Alonso, IETcc-CSIC

[mercesanc@ietcc.csic.es](mailto:mercesanc@ietcc.csic.es)

Dr. Gerard Tobias, ICMAB-CSIC

[gerard.tobias@icmab.es](mailto:gerard.tobias@icmab.es)

Dr. Pedro Gómez Romero, ICN2-CSIC-GenCat

[pedro.gomez@cin2.es](mailto:pedro.gomez@cin2.es)

Dr. Víctor Ramón Velasco Rodríguez, ICMM-CSIC

[vrvr@icmm.csic.es](mailto:vrvr@icmm.csic.es)

Dr. Carlos Briones Llorente, CAB-CSIC-INTA

[cbriones@cab.inta-csic.es](mailto:cbriones@cab.inta-csic.es)

Dr. Javier Aizpurua Iriazabal, CFM-CSIC-UPV

[aizpurua@ehu.es](mailto:aizpurua@ehu.es)

Dra. Mónica Luna Estévez, IMM-CSIC

[mluna@imm.cnm.csic.es](mailto:mluna@imm.cnm.csic.es)

Dr. Francesc Pérez Murano, IMB-CSIC

[Francesc.Perez@csic.es](mailto:Francesc.Perez@csic.es)

Dr. Jordi Díaz Marcos, CCiTUB

[jdiaz@ccit.ub.edu](mailto:jdiaz@ccit.ub.edu)

Dr. Víctor Puntos, ICN2-CSIC-GenCat

[victor.puntos.ing@icn.cat](mailto:victor.puntos.ing@icn.cat)

## **GUATEMALA**

Dra. Rose Dubon, Universidad San Carlos

[rossydubon@gmail.com](mailto:rossydubon@gmail.com)

Dra. Susana Arrechea, Universidad San Carlos

[arrecheausac@gmail.com](mailto:arrecheausac@gmail.com)

Dra. Liuba Cabrera, Universidad San Carlos

[prunian@gmail.com](mailto:prunian@gmail.com)

## **MÉXICO**

Dr. Noboru Takeuchi, CNyN-UNAM

[noborutakeuchi@hotmail.com](mailto:noborutakeuchi@hotmail.com)

M.C. María Isabel Pérez Montfort, CNyN-UNAM

[miperez@cbyn.unam.mx](mailto:miperez@cbyn.unam.mx)

Dr. Miguel Eduardo Mora, UAEM

[memora@uaem.mx](mailto:memora@uaem.mx)

Dr. Rolando Pérez, UAEM

[rpa@uaem.mx](mailto:rpa@uaem.mx)

Dr. Gregorio Hernando Cocolezzi, BUAP

[cocoletz@ifuap.buap.mx](mailto:cocoletz@ifuap.buap.mx)

Miguel García Guerrero, Grupo Quark

[miguel@grupoquark.com](mailto:miguel@grupoquark.com)

M.C. Roberto Vázquez Muñoz, CICESE

[vazquezm@cicese.edu](mailto:vazquezm@cicese.edu)

## **PERÚ**

Dr. Justo Rojas, UNMSM

[jrojast@unmsm.edu.pe](mailto:jrojast@unmsm.edu.pe)

Dr. Carlos V. Landauro, UNMSM

[clandauros@gmail.com](mailto:clandauros@gmail.com)

## **PORTUGAL**

Dra. María de Jesús Matos Gomes, UMINHO

[mjesus@fisica.uminho.pt](mailto:mjesus@fisica.uminho.pt)

## **VENEZUELA**

Dr. Anwar Hasmy, ONCT y RedVnano

[anwarhasmy@redvnano.org](mailto:anwarhasmy@redvnano.org)

Dra. Gema González, IVIC y RedVnano

[gemagonz@gmail.com](mailto:gemagonz@gmail.com)

Leticia Mogollón, UPTM

[yonatvid@hotmail.com](mailto:yonatvid@hotmail.com)

Eduardo Chalbaud, RedNano ESTULA

[chalbaud.eduardo09@gmail.com](mailto:chalbaud.eduardo09@gmail.com)

Dña. María Sonsiré López, IVIC

[msonsi@gmail.com](mailto:msonsi@gmail.com)

## **II. ENLACES SOBRE NANOEDUCACIÓN**

(Nota: muchos de los siguientes enlaces contienen información en inglés)

Centre for Education Nanotechnology and Utilization

<http://www.cneu.psu.edu/>



Colegio Oficial de Físicos

<http://www.cofis.es/>

Formación en Nanotecnología: un reto en el Siglo XXI

[http://www.madrimasd.org/blogs/cursonanotecnologia/author/cursonanotecno  
logia/](http://www.madrimasd.org/blogs/cursonanotecnologia/author/cursonanotecno<br/>logia/)

Journal in NanoEducation

<http://www.aspbs.com/jne/>

MRSEC Education Group

<http://education.mrsec.wisc.edu/index.htm>

NANOEDU. NanoEducation & Training Forum (nanoEDU)

<http://www.nano.gov/education-training>

NANOEDUCATION

<http://www.nano.gov/education-training>

NANO EDUCATION. CISMM. Computer Integrated Systems for Microscopy and Manipulation

<http://cismm.cs.unc.edu/resources/tutorials/nanoeducation/>

NANO EDUCATION LEAGUE. Instituto Indio de Tecnologías

<http://www.nanoeducation.co.in/>

NANO HUB: Simulation, Education, and Community for Nanotechnology

<https://nanohub.org/>

NanoProfessor. Hands-On Nanotechnology Education

<http://www.nanoprofessor.net/>

Nanotechnology Center for Learning and Teaching (NCLT)

<http://community.nsee.us/>

Nanotechnology Education Tree

<http://www.nano.org.uk/educationtree/>

Nanoyou: Nanotechnology education resources | Nano for youth

<http://nanoyou.eun.org/web/nanoyou/home>

Nano4me

<http://nano4me.org/educators>

Red 'José Roberto Leite' de divulgación y formación en nanotecnología (NANODYF)

<http://www.nanodyf.org/>

Resources on Nanotechnology Education for Kids

<http://www.oknano.com/NanoforStudents.html>

Revista Mundo Nano

<http://www.revistas.unam.mx/index.php/nano>

TryNano

<http://trynano.org/>

UVA Virtual Lab Website / Hands-on Intro to Nanoscience Class Website

<http://virlab.virginia.edu/VL/contents.htm>

## **ANEXOS**

### **MATERIALES COMPLEMENTARIOS DE LAS FICHAS INCLUIDAS EN EL CAPÍTULO 4**



## TABLA-ÍNDICE DE LOS ANEXOS

La siguiente tabla muestra los materiales complementarios asociados a las diferentes fichas que se han descrito en el Capítulo 4. Dichos materiales complementarios se encuentran, en formato digital, en el CD que acompaña esta Guía Didáctica.

<b>RELACIÓN DE FICHAS CON MATERIALES COMPLEMENTARIOS</b>		
<b>CLAVE DE LA FICHA</b>	<b>TÍTULO DE LA FICHA DIDÁCTICA</b>	<b>TIPO DE FICHERO</b>
I.1	ESCALAS: UN PASEO DE LO GRANDE A LO PEQUEÑO	Fichero POWER POINT
I.2	LA IMPORTANCIA DE LOS EFECTOS DE TAMAÑO EN NANOTECNOLOGÍA	Fichero POWER POINT
I.3	EL TAMAÑO Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES DE LOS NANOSISTEMAS	Fichero POWER POINT
I.4	NANOMATERIALES DE CARBONO	Fichero POWER POINT
I.5	LA NANOESCALA EN LOS SERES VIVOS	Fichero POWER POINT
I.6	SUPERFICIES SUPERHIDROFÓBICAS: EFECTO LOTO	Fichero WORD
II.3	SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA RECUBIERTAS DE CITRATO. ESTABILIDAD EN SOLUCIONES DE DISTINTA COMPOSICIÓN	Fichero POWER POINT
II.4	SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS DE ÓXIDO DE HIERRO	Fichero MOV (Película)
II.5	MOLDEO DE SUPERFICIES NANO / MICROESTRUCTURADAS. INTERACCIÓN DE LA LUZ VISIBLE CON NANOPATRONES SUPERFICIALES	Fichero POWER POINT
II.6	MICROTÚBULOS: NANOESTRUCTURAS MULTIFUNCIONALES	Fichero POWER POINT
III.1	MICROSCOPIOS DE FUERZAS ATÓMICAS: LOS OJOS DEL NANOMUNDO	Fichero POWER POINT
III.3	LA IMPORTANCIA DE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN LAS NANOCIENCIAS	Fichero POWER POINT
IV.1	LA NANOTECNOLOGÍA DE NUESTROS ANTEPASADOS	Fichero POWER POINT

<b>IV.2</b>	<b>NANOPARTÍCULAS Y SU USO PARA CONSTRUIR UN NANOSENSOR</b>	<b>Fichero POWER POINT</b>
<b>IV.4</b>	<b>LOS NANOMATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN</b>	<b>Fichero POWER POINT</b>
<b>V.1</b>	<b>NANOTECNOLOGÍA: LA REVOLUCIÓN DE LO CHIQUITO</b>	<b>Fichero POWER POINT</b>
<b>V.2</b>	<b>NANOTECNOLOGÍA EN LA SOCIEDAD. OPORTUNIDADES Y RIESGOS</b>	<b>Fichero POWER POINT</b>
<b>V.3</b>	<b>LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL DEL SIGLO XXI: OPORTUNIDADES DE LA NANOTECNOLOGÍA</b>	<b>Fichero POWER POINT</b>
<b>V.4</b>	<b>LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL DEL SIGLO XXI: RIESGOS DE LA NANOTECNOLOGÍA</b>	<b>Fichero POWER POINT</b>
<b>V.5</b>	<b>ASPECTOS ÉTICOS Y SOCIALES DE LA NANOTECNOLOGÍA: NANOPÁNICO O NANOEUFORIA</b>	<b>Fichero WORD</b>
<b>V.6</b>	<b>IMPLICACIONES SOCIALES, RIESGOS, PRECAUCIÓN, NORMATIVA</b>	<b>Tres Ficheros POWER POINT</b>



