

## ENSEÑAR NANOTECNOLOGÍA A TRAVÉS DE NUESTROS ANTEPASADOS

## TEACHING NANOTECHNOLOGY THROUGH OUR ANCESTORS

Javier Gamo-Aranda<sup>†</sup>, Joaquín D. Tutor-Sánchez<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>Division of Science & Engineering, Saint Louis University-Madrid Campus. Avda. del Valle 34 Madrid 28003. Madrid España.

<sup>‡</sup>Red NANODYF - CYTED; Departamento de Ingeniería Mecánica. ETSI ICAI Universidad Pontificia Comillas. c/Alberto Aguilera 25. Madrid 28015. Madrid España.

(Recibido: Mayo/2015. Aceptado: Junio/2015)

### Resumen

La tecnología de materiales a escalas de tamaños nanométricos no ha sido resultado de los avances de la ciencia y la tecnología de los materiales de las últimas cinco décadas. Algunos interesantes resultados tecnológicos de la antigüedad como las denominadas Espadas de Damasco, la Copa de Lycurgus, el colorante Azul Maya y los Vitrales de las Catedrales son ejemplos de cómo, tal vez de forma espontánea, se obtuvieron propiedades mecánicas, ópticas, químicas y biológicas gracias a la fabricación de objetos en los cuales algunos de sus componentes poseían tamaños nanométricos. El presente artículo pretende mostrar cómo es didácticamente factible auxiliarnos de estos resultados nanotecnológicos de nuestros antepasados para introducir conceptos básicos de la nanociencia y la nanotecnología actual en la presentación de conceptos, leyes y teorías presentes en contenidos de algunas asignaturas de enseñanza secundaria y universitaria.

**Palabras clave:** Nanociencia, Nanotecnología, Enseñanza.

### **Abstract**

The technology of materials at nanometric size scales has not been only the result of advances in science and technology of materials of the past five decades. Some interesting technological results of antiquity as the so-called Sword of Damascus, the Lycurgus' Cup, the Azul Maya dye and the Windows of Cathedrals are examples of how, perhaps spontaneously, interesting and enhancing mechanical, optical, chemical and biological properties were obtained, thanks to the manufacture of objects in which some components had nanometric sizes. This article shows how one can aid its didactically from these former mentioned nanotechnological results of our ancestors to introduce basic concepts of nanoscience and nanotechnology in today teaching concepts, laws and theories present in contents of some subjects in secondary and university education.

**Keywords:** Nanoscience, Nanotechnology, Training.

## **1. Introducción**

Es conocido que el ser humano, a lo largo de diferentes momentos históricos, fue capaz de obtener algunos materiales que sorprendían por sus extraordinarias propiedades gracias a su composición. Muchos de estos materiales contenían componentes de tamaños nanométricos en su estructura interna. Como se menciona en el libro *Guía Didáctica de Enseñanza de la Nanotecnología para Educación Secundaria*: "...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" [1].

Desde el punto de vista del proceso de enseñanza-aprendizaje, es un hecho pedagógico que la mayoría de los sistemas educativos de los países están desarrollando el aprendizaje y evaluación basado en competencias [2]. Se promulga además la transversalidad de las competencias: por ejemplo, las competencias básicas en ciencia y tecnología (que sería el objeto principal de este trabajo) deben ir unidas ineludiblemente a la competencia en comunicación

lingüística (de poco sirve aprender cualquier disciplina, si no se sabe comunicar correctamente). Así, el estudiante debe ser capaz de adquirir competencias muy diversas, para un correcto desenvolvimiento en el mundo actual.

Reconociendo el hecho de que la ciencia de los científicos es distinta a la ciencia escolar [3], entendemos que los recursos didácticos deben producir un efecto motivador en el estudiante, que les haga interesarse por la materia científica bajo estudio. El uso de ejemplos de desarrollos “nano” provenientes del pasado pueden servir para producir un efecto motivador en el alumnado, toda vez que la nanotecnología sigue teniendo cierto “halo futurist” para el gran público; así, la mezcla con el pasado puede servir para romper ciertos mitos preconcebidos acerca de la nanociencia.

En el presente artículo, se realiza un análisis de cuatro nanomateriales obtenidos por el hombre en la antigüedad, así como se comentan las posibilidades didácticas del uso de estos nanomateriales de la antigüedad a la hora de desarrollar ciertas asignaturas para alumnos de nivel secundario y universitario.

## **2. NANOMATERIALES DE LA ANTIGÜEDAD**

### **2.1. Espada de Damasco**

Históricamente las espadas de los guerreros se han confeccionado de aceros. Sin embargo en la Edad del Hierro (Siglo XIII A.C.) se hacían de hierro [4]. Ya antes de la Edad Media los herreros artesanos descubrieron, tal vez por pura casualidad, que si se le añadía ciertas cantidades del propio hollín de la madera que alimentaba las fraguas de fundición al hierro fundido, se obtenía un material de mayor dureza y flexibilidad. En definitiva estaban añadiendo carbono al hierro fundido y así se descubría el acero. El acero es una mezcla de hierro con una cantidad de carbono variable entre el 0,03 % y el 2,14 % en masa de su composición haciendo este material fácilmente forjable.

Sin embargo, de todos los aceros históricamente obtenidos hubo uno en especial que se destacaba por las propiedades antes mencionadas: dureza y flexibilidad. Este acero conocido como acero wootz

fue obtenido en la India en el 300 A.C. y exportado al Medio Oriente y finalmente conocido como “acero de Damasco” (también denominado hierro esponja), y de ahí el nombre de las espadas: “espadas de Damasco”. El acero de Damasco era un acero que presentaba unas estructuras internas de carbono embebidas en una matriz de martensita o perlita, que son microestructuras propias del acero. En el año 2006 el investigador Peter Paufler y sus colaboradores, de la Universidad de Dresden en Alemania, publicaron un artículo en la revista Nature [5] en el que revelaban la comprobación de existencia de **nanotubos de carbono (CNT)** ocluidos en la matriz metálica del acero a través de estudios de microscopia hechos en algunos ejemplares de espadas de Damasco (ver Figura 1).

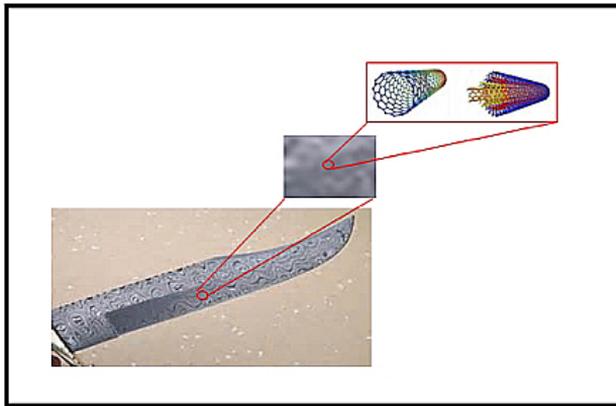


FIGURA 1. Composición de imágenes libres de INTERNET para representar didácticamente la presencia de CNT en las espadas de Damasco.

En la Ciencia de Materiales se definen los materiales compuestos (también conocidos como composites) como estructuras sólidas en volumen (matriz) con estructuras internas de diferentes tamaños repetidas en diferentes fases de la matriz. Típicamente estos materiales pueden consistir en una matriz inorgánica sólida conteniendo un huésped orgánico/inorgánico con diferentes tamaños o viceversa, una matriz orgánica conteniendo un huésped inorgánico/orgánico. Si las estructuras internas poseen tamaños nanométricos se estaría hablando de un **nanocomposite**. En definitiva podría decirse que el acero de Damasco es un

*nanocomposite metal/CNT*. Y estos aceros fueron producidos a través de un proceso de *nanofabricación espontánea* por nuestros antepasados.

## 2.2. Copa de Lycurgus

La copa de Lycurgus es una vasija de cristal, que data del Siglo IV de nuestra era y se encuentra expuesta en el Museo Británico [6]. Su talla en relieve representa el triunfo del Dionisio sobre el rey Lycurgus. El interés de esta pieza del romano tardío radica en el sofisticado método de fabricación utilizado, y en los extraordinarios efectos ópticos que produce, en función del modo de observación. Como ilustra la Figura 2, la copa aparece en color verde al observarse por reflexión de luz, y de color rojo cuando se observa por transmisión. A nivel macroscópico, la vasija está formada por una mezcla de sosa-cal-sílica, manganeso y antimonio. Sin embargo, al ser analizada mediante rayos X, se revela la presencia de *nanopartículas metálicas* de oro y de plata (de tamaños en torno a 50 - 100 nm), en una proporción 7:3.

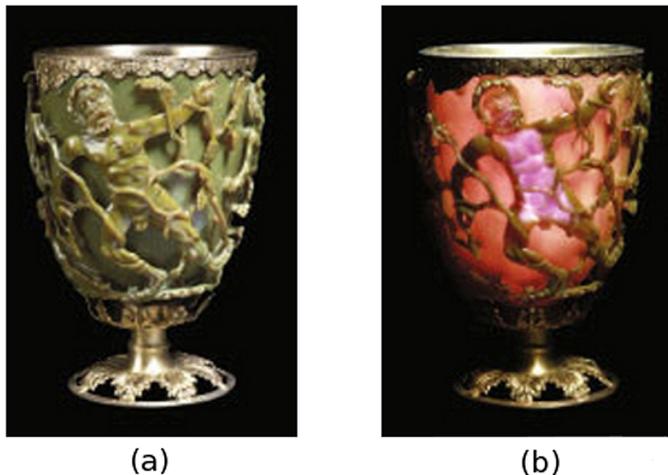


FIGURA 2. Imagen de la famosa copa de Lycurgus (a) bajo luz reflejada (b) vista por transmisión. [6]

Las últimas teorías respecto al proceso de fabricación de la copa de Lycurgus apuntan a que la formación de nanopartículas se debe

a un proceso químico de oxidación-reducción. Así, se cree que el antimonio (usado en la época como decolorante y opacificante del vidrio) es el agente reductor que produce las nanopartículas metálicas en dicho proceso redox. Por otra parte, la temperatura a la que se moldea el vidrio y reducen los metales, así como la atmósfera en la que tiene lugar la reacción química, también se cree que son claves para la formación de las nanopartículas.

### 2.3. Pigmento Azul Maya

El azul maya constituye un gran ejemplo de material híbrido, cuyo color azul claro característico ha resistido el paso de los siglos, intrigando durante décadas a la comunidad científica [7].

Fabricado por vez primera por las culturas Maya y Azteca en el Siglo IX, este pigmento constituye un nanomaterial cerámico que está formado por partículas de material orgánico (añil, también llamado índigo centroamericano) e inorgánico (arcilla palygorskita). Es bien conocido que los colorantes orgánicos se degradan por el paso del tiempo. Precisamente la mayor novedad de este pigmento es que su color turquesa ha perdurado con el paso del tiempo, incluso en condiciones climáticas adversas (ver Figura 3).



FIGURA 3. Representación del pigmento azul maya presente en una pintura mural. [7]

La simple mezcla de arcilla palygorskita y añil no produce el típico color turquesa, ni lo hace resistente a la luz o a los ataques químicos.

Sin embargo, si la mezcla inorgánica-orgánica se procesa en unas determinadas condiciones (producción mediante métodos cerámicos a 100 - 100 °C durante algunas horas) para producir un material nano-estructurado, que conforma el azul maya.

## 2.4. Vitrales de Catedrales

Posteriormente al Siglo IV de nuestra era y hasta aproximadamente el Siglo XIII, los vitrales de las catedrales se confeccionaban a partir de lo que hoy es conocido como una solución coloidal de oro y plata (de matriz vítrea) enfriada convenientemente para que cumplieran sus funciones estéticas y sanitarias a temperatura ambiente. Tal vez por accidente o con premeditación (hoy en día este hecho es aún desconocido) las tonalidades de los vidrios se obtenían en dependencia de los tamaños de los coloides (partículas de oro y/o plata) dispersados en la matriz de vidrio, de forma similar a lo comentado anteriormente en el caso de la Copa de Lycurgus.

Los artesanos de vitrales medievales fueron también precursores de la *Nanotecnología*, ya que atrapaban, de forma inconsciente o no, nanopartículas de oro y/o plata en la “matriz de vidrio”, con el fin de generar colores diferentes en las ventanas (ver Fig. 4). Este ejemplo de cambio de color es un testimonio del dramático cambio en las propiedades del material que se produce en la *nanoescala*. En este caso de los vitrales de Catedrales entre los Siglos IV y XIII (posteriormente se han pintado los vidrios superficialmente) se vuelve a estar en presencia de un nanocomposite, esta vez de matriz vítrea con oclusiones de nanopartículas de oro y/o plata, o sea un nanocomposite cerámica/metal.

## 3. NANOMATERIALES DE LA ANTIGÜEDAD COMO RECURSOS DIDÁCTICOS

### 3.1. Recurso Didáctico

Ante todo, se hace necesario definir, de forma breve pero práctica, lo que 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

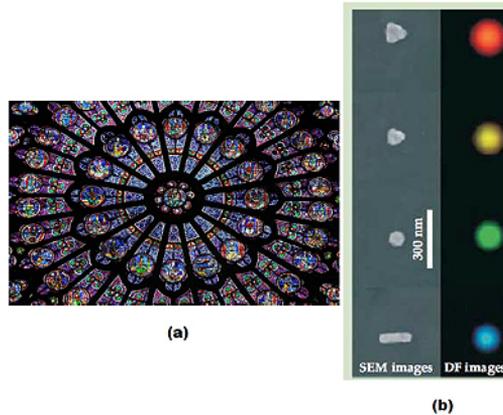


FIGURA 4. (a) *Vitral Roseta Norte de la Catedral de Notre-Dame (www.pompanon.fr).* (b) *Imágenes de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y de Microscopía de Campo Oscuro (DFM) de Nanopartículas de oro con diferentes formas y tamaños, embebidas en la matriz vítrea de los componentes del vitral. [8]*

a su vez al alumno su función de aprendizaje. No olvidemos que los recursos didácticos deben utilizarse en un contexto educativo [9, 10].

¿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 (competencias) 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 es posible exponer algunas sugerencias sobre cómo resultados nanotecnológicos de nuestros antepasados pueden servirnos como recursos didácticos para introducir ideas de la nanociencia y la nanotecnología en el marco de la enseñanza secundaria y universitaria. Además, la posibilidad de poder documentar la experiencia docente

### **3.2. Conceptos nanotecnológicos y niveles de enseñanza**

De los cuatro ejemplos vistos anteriormente en el punto II sobre nanomateriales de la antigüedad, se puede resumir que están presentes los siguientes conceptos:

- Nanofabricación (espontánea)
- Nanotubos de carbono
- Nanopartículas metálicas
- Nanopartículas cerámicas
- Nanocomposites
- Nanoescala
- Nanotecnología
- Propiedades mecánicas y ópticas mejoradas debido a los nanomateriales

La preparación de recursos didácticos en la enseñanza de distintas asignaturas incluyendo los nanomateriales de nuestros antepasados, permite al docente cumplir su función docente-educativa con la actualización pertinente de los éxitos de la Nanociencia y la Nanotecnología; a su vez es una vía para que el aprendizaje de los alumnos y estudiantes se realice en un marco actual en que

la Revolución Científico Técnica del siglo XXI se desarrolle con la presencia de la Nanotecnología, entre otras nuevas tecnologías.

Desde el punto de vista práctico es posible que un docente de nivel secundario y un docente de nivel universitario, pueda elaborar recursos didácticos en diferentes asignaturas introduciendo los nanomateriales de nuestros antepasados como motivación para introducir nuevos conceptos. Siguiendo algunos esquemas de asignaturas con un mayor o menor grado de internacionalidad es posible sugerir a los docentes en que asignaturas y en que temas pueden introducirse recursos didácticos que incluyan los conceptos antes mencionados (ver Tabla 1).

Nivel de Enseñanza	Asignatura	Temas relacionados
Secundario	Tecnología	Materiales. Trabajo con materiales
Secundario	Física-Química	Los Materiales y sus Propiedades
Secundario	Ciencias Contemporáneas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Los materiales: uso y consumo</li> <li>▪ Nuevas necesidades, nuevos materiales</li> </ul>
Universitario Ingeniería	Ciencia de Materiales	Materiales Estructurales: polímeros y materiales compuestos (composites)
Universitario Ciencias Físicas	Física del Estado Sólido	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Enlaces Cristalinos: Metales</li> <li>▪ Propiedades Térmicas de Aislantes</li> <li>▪ Fenómenos Ópticos en Aislantes</li> </ul>
Universitario Ingeniería	Ciencia de Materiales	Materiales Estructurales: polímeros y materiales compuestos (composites)
Universitario Ciencias Químicas	Química del Estado Sólido	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Introducción. Sólidos iónicos, moleculares y metálicos</li> <li>▪ Propiedades térmicas y ópticas de los sólidos metálicos</li> <li>▪ Nuevos materiales</li> </ul>

TABLA 1. *Sugerencia niveles de enseñanza, asignaturas y temas donde su pueden elaborar recursos didácticos basados en los nanomateriales de nuestros antepasados.*

Por último, y enlazando con la transversalidad de las distintas competencias que los estudiantes deben adquirir, se recomienda que los recursos didácticos que se generen contemplen la elaboración

por parte de los alumnos de una memoria-resumen de cada recurso estudiado, siguiendo una plantilla proporcionada de antemano por el profesor, y que estará convenientemente adaptada para cada nivel educativo. De esta forma, el profesor puede comprobar la eficacia del recurso didáctico elaborado para el desarrollo de diversas competencias, como pueden ser la lingüística y las basadas en ciencia y tecnología, entre otras.

#### 4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se han comentado algunos ejemplos de hallazgos del pasado en los que se manifestaban la existencia de nanomateriales. A partir de los ejemplos expuestos se ha resumido un conjunto de conceptos propios de la Nanociencia y la Nanotecnología que pueden y deben ser incorporados en el proceso de enseñanza-aprendizaje en diferentes niveles de Enseñanza.

A partir del conjunto de conceptos de Nanociencia y Nanotecnología presentes en el análisis de los nanomateriales del pasado, se propone la elaboración de recursos didácticos basados en los nanomateriales del pasado para su utilización en diferentes niveles de Enseñanza, Asignaturas y temas específicos, debido a la novedad, la actualidad y la trascendencia de dichos conceptos.

Los recursos didácticos que se elaboren deberán facilitar de forma fluida y orgánica la introducción de los nuevos conceptos en las distintas asignaturas y áreas de conocimiento implicadas en cada ejemplo concreto de acuerdo al nivel de profundidad requerido según el nivel de enseñanza.

Además, se propone que el estudiante elabore una memoria-resumen descriptiva de cada recurso docente estudiado, la cual sirva para comprobar la efectividad del recurso didáctico en el desarrollo transversal de diversas competencias, como son la lingüística y las basadas en ciencia y tecnología.

#### Referencias

- [1] P. Serena, J. Giraldo, N. Takeuchi, and J. Tutor, *Guía Didáctica de Enseñanza de la Nanotecnología* (Reproduzze

- S.L., Madrid, 2014).
- [2] I. Juan Carlos, “Ley orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa,” (2013).
  - [3] M. Aleixandre, *Didáctica de la física y la química*, Formación Profesorado-e.secun (Editorial Graó, España, 2011).
  - [4] J. Barrera Otalora, *Metal Actual* **18**, 46 (2010).
  - [5] M. Reibold, P. Paufler, A. A. Levin, W. Kochmann, N. Patzke, and D. C. Meyer, *Nature* **444**, 286 (2006).
  - [6] I. Freestone, N. Meeks, M. Sax, and C. Higgitt, *Gold Bulletin* **40**, 270 (2007).
  - [7] C. Reyes-Valerio, *De Bonampak al Templo Mayor: el azul maya en Mesoamérica*, Colección América nuestra (Siglo XXI, 1993).
  - [8] A. G. Torrano, *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide* **15**, 26 (2014).
  - [9] J. and Tutor Sánchez and 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).
  - [10] E. Vilaú, C. Pérez Ganfong, J. Tabío Losada, L. Lourido Hermida, L. García Ramis, and J. Tutor Sánchez, *Orientaciones Metodológicas. Física 12º Grado* (Editorial Pueblo y Educación, Ministerio de Educación, Cuba, 1979).