

ARTÍCULO

IMPORTANCIA DE UNA NANOEDUCACIÓN A NIVEL LICENCIATURA

Miguel Ángel Méndez-Rojas

Importancia de una nanoeducación a nivel licenciatura

Resumen

Las nanociencias y nanotecnologías (NyN) son un área interdisciplinaria que ha despertado el interés de numerosos sectores por sus posibles impactos económicos, sociales y tecnológicos. La necesidad de contar con profesionales de alto nivel, capacitados para su inserción en las necesidades de una sociedad global en donde los productos conteniendo materiales y dispositivos derivados de las NyN sean cotidianos y comunes, obligan a las instituciones educativas a considerar si es necesario o no el incluir en el currículo educativo de sus distintos programas académicos el tema de la NyN. En este trabajo presentamos las experiencias del programa de Nanotecnología e Ingeniería Molecular de la Universidad de las Américas Puebla, y discutimos brevemente las perspectivas y recomendaciones futuras que son necesarias considerar en el campo de la nanoeducación en México.

Palabras clave: Nanoeducación; Nanociencia y Nanotecnología; programas educativos.

The importance of the nanoeducation on the undergraduate degree

Abstract

Nanoscience and nanotechnology (N&N) has become an interdisciplinary field, which has attracted the attention of several sectors due to its potential economical, social and technological impacts. The need to have highly prepared professionals, able to apply their skills in a global society where daily and common materials and devices will contain components derived from N&N is a driving force for academic institutions, which are considering now to include (or not) the N&N into the educational curricula of their professional programs. Here, we share our experiences on the Bachelor undergraduate degree in Nanotechnology and Molecular Engineering at the Universidad de las Américas Puebla, and later discuss some personal future perspectives and recommendations to be considered in the field of Nanoeducation in Mexico.

Keywords: Nanoeducation; Nanoscience and nanotechnology; educational programs.

Introducción

Las nanociencias y nanotecnologías (NyN) agrupan de forma multi- e interdisciplinaria varias áreas que van de la química a la física, la biología, las matemáticas y las ingenierías, con el fin de emplearlas en la resolución de problemas complejos, relacionando el diseño y la preparación de materiales con características estructurales en el rango entre 1 a 100 nanómetros, los cuáles presentan propiedades únicas que los hacen de interés tecnológico.

El gran interés que las NyN han despertado en los distintos sectores productivos, académicos y económicos de la sociedad se explica en parte, por las numerosas expectativas que presentan para aportar soluciones a problemas de distinta índole que impactarán de manera profunda en distintos ámbitos, tales como el social, industrial, de construcción, energía, medio ambiente, salud y el económico. Para poder estar preparados para esta revolución tecnológica, numerosas instituciones educativas han considerado necesario incluir en el currículo educativo de sus distintos programas académicos el tema de las NyN, para que de esta forma sus egresados puedan competir en las necesidades y problemas que tendrá el futuro mercado laboral.

Aunque en nuestro país no exista aún un programa nacional de NyN, el impacto de éstas en el desarrollo económico, industrial y social no se ha medido con profundidad (excepto parcialmente por un estudio encargado por la Secretaría de Economía al Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados, CIMAV, en 2008), es predecible que este programa nacional sea importante dentro de algunos años. En Estados Unidos de América, un estudio de la *National Science Foundation* (NSF) calcula que para el año 2020 se requerirán más de 6 millones de trabajadores en todo el mundo capacitados para cubrir actividades relacionadas a las NyN, de las cuales 2 millones de plazas laborales estarán ubicadas en los Estados Unidos; en la Unión Europea, se han realizado estimaciones similares. En ese sentido, es urgente notar el corto tiempo disponible para tomar las medidas en la dirección correcta, que permitirán disponer de dicha fuerza de trabajo con un alto grado de especialización en el mediano plazo.

Para atender esta demanda inminente, se han establecido numerosos programas educativos, en sus distintos niveles, alrededor del mundo. Europa, por ejemplo, cuenta con aproximadamente 150 programas (19 doctorados, 25 especialidades, 78 maestrías y 28 licenciaturas) relacionadas con Nanociencia y Nanotecnología (**Figura 1**). Norteamérica (Canadá y Estados Unidos) poseen ya más de 40 programas. En América Latina el despegue ha sido lento, pero va en aumento. Luego de la propuesta pionera de la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) en 2006 con la licenciatura en Nanotecnología e Ingeniería Molecular, hoy existen más de 15 programas a nivel pregrado, dispersos en el territorio nacional, que forman a los futuros profesionistas de este campo del conocimiento.

Muchos se preguntarán: “¿Es necesaria una Nanoeducación?”. La respuesta es compleja, pues requiere establecer los motivos por los cuáles tal tipo de educación es necesaria, la validez de

las aproximaciones que puedan darse a su modelo de enseñanza y, finalmente, el impacto real que los beneficiados con la misma podrán o no tener y su inclusión en el sector productivo y académico. Diversas estrategias a nivel nacional e internacional se han implementado en búsqueda de una profesionalización en el área: la introducción de cursos *ad hoc* a nivel pregrado, la especialización en el área mediante programas de posgrado o, en menor medida, la estructuración y oferta de licenciaturas enfocadas en el área de nanociencias y nanotecnología (NyN). La estructuración de programas de licenciatura en el área, aunque modesta aún en número, parece ser una tendencia general en pleno crecimiento y expansión en numerosos países, en particular en aquellos que cuentan ya con iniciativas o planes estratégicos nacionales en el campo.



Figura 1. Distribución de algunos de los principales programas educativos a nivel superior (Licenciatura) en Nanotecnología en el mundo.

En el año 2005, como parte de una estrategia institucional para la generación de nuevos programas académicos, un grupo de trabajo interdisciplinario formado por investigadores en ciencias (física, biología, química) e ingeniería (computación, mecánica, electrónica) desarrollamos un programa de Licenciatura en Nanotecnología e Ingeniería Molecular. La propuesta surgió de la identificación de un nicho de oportunidad a nivel latinoamericano para la formación de recursos humanos profesionales a nivel licenciatura que pudieran contribuir a competir favorablemente a nivel internacional. Luego de su análisis por la institución, la propuesta fue aprobada por el claustro académico y así en Otoño del año 2006 se inscribió la primera generación del programa de licenciatura en Nanotecnología e Ingeniería Molecular. El programa de estudios originado en 2006 tiene una duración de 9 semestres (4.5 años) y enfatiza una formación interdisciplinaria con cursos en las áreas de Química, Electrónica, Física, Materiales y Nanociencias. Posteriormente

en el año 2011, como parte del proceso de actualización y revisión de programas de estudio, una nueva revisión curricular se propuso y aprobó para ser ofrecida a los estudiantes interesados. El nuevo programa de estudios 2012 en Nanotecnología e Ingeniería Molecular de la UDLAP tiene una duración de 4 años (8 semestres) y fortalece la formación transdisciplinaria en Química, Física, Biología, Materiales, Nanociencia y Nanotecnología, disminuyendo significativamente la enseñanza en Electrónica. El plan de estudios más reciente está disponible en línea en la página de la institución (<http://www.udlap.mx>).

La implementación práctica de este programa de estudios requirió primero de un análisis de las demandas del sector público y privado, así como la revisión de los perfiles de ingreso de programas de posgrado en NyN alrededor del mundo. Por el carácter multidisciplinario de la NyN, fue necesario incluir en la aproximación tanto los enfoques *top-down* (la visión de la microelectrónica) como el *bottom-up* (la visión molecular) de una manera que permitiera al estudiante adquirir los conceptos y habilidades básicas necesarios para su posterior especialización a nivel posgrado. Además de ese enfoque general, el programa de la UDLAP enfatiza principalmente el desarrollo de habilidades de diseño, síntesis y caracterización a través de las herramientas de la Química, la Física y la Biología, lo que constituye en sí una especialización en la visión *bottom-up*. Además, mediante convenios de colaboración con diversos institutos de investigación y universidades en México y el extranjero, ha sido posible que más de un 30% de los estudiantes realicen durante los veranos estancias de trabajo que les permiten introducirse en el mundo de la investigación básica y aplicada.

El programa de Licenciatura en Nanotecnología e Ingeniería Molecular ha tenido una buena aceptación entre estudiantes y los profesores participantes, superando en la mayoría de los casos las expectativas en cuanto al rendimiento académico, integración de habilidades conceptuales y experimentales. Entre los objetivos del programa de Nanotecnología de la UDLAP podemos listar los siguientes:

- Identificar los perfiles de ingreso y egreso que optimicen el aprovechamiento académico y el desarrollo de habilidades de trabajo, investigación y desarrollo de jóvenes interesados en formarse profesionalmente en las nanociencias y la nanotecnología.
- Maximizar el aprovechamiento de oportunidades académicas y extra-académicas para la obtención de experiencias útiles en la vida profesional y el posgrado.
- Acercamiento de los estudiantes a experiencias de investigación en proyectos en temas en la frontera del conocimiento, con énfasis en abordar problemas de carácter multi-disciplinario y con profundo impacto social, económico y ecológico.
- Crear redes de colaboración entre los estudiantes de mi grupo de investigación e investigadores en instituciones locales, nacionales e internacionales.

• Derivado de los datos colectados en el periodo de tiempo de Agosto de 2006 a Agosto de 2012, conocemos ahora un poco más sobre la movilidad, índices de deserción y causas de baja de los alumnos que ingresan por vez primera al programa de Nanotecnología en la UDLAP. En la siguiente tabla se resume dicho comportamiento:

AÑO	INSCRITOS PRIMER INGRESO	PERMANECIERON INSCRITOS	CAMBIO DE CARRERA	BAJA	ACUMULATIVO
2006	17	11	2	4	17
2007	26	14	4	8	43
2008	22	11	2	9	65
2009	23	15	2	6	88
2010	28	23	1	4	116
2011	24	20	1	3	140
2012	29	27	0	2	169

Demográficamente, los alumnos provienen de distintos estados de la República. Un 49% de los alumnos son originarios de Puebla (30%), el Estado de México (10%) y el Distrito Federal (9%). El 51% restante proviene del resto del país, incluyendo a 3 estudiantes extranjeros (2 de Perú, 1 de Ecuador). En cuanto a diversidad de género, todavía hay una asimetría preferencial por hombres respecto a mujeres, con un 22% de los estudiantes del género femenino contra el resto del género masculino.

Al día de hoy se han graduado 17 alumnos del programa, mismos que se encuentran actualmente aceptados, inscritos o en proceso de aplicación a programas de posgrado en el país y en el extranjero (King Abdhulah University of Science & Technology, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Norfolk State University, Texas Christian University, University of Texas at Dallas, University of Ulm, Grenoble Polytechnique Institute-MINATEC, Universidad Autónoma de Barcelona, University College of London, University of Sheffield, Universidade Federal do ABC). Dos de ellos actualmente se encuentran trabajando en el sector industrial (Nanocron-Nanotecnologías S.A. de C.V. y en SABIC-Saudi Arabia). Más del 90% de los egresados encuentra trabajo después de titularse o ingresa a un programa de posgrado nacional o internacional.

Previo a graduarse, cerca de una tercera parte de los alumnos participan en uno o más estancias de investigación de verano en instituciones nacionales y extranjeras. Durante los últimos 4 años nuestros estudiantes han realizado estancias en el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), el College of Nanoscale Science & Engineering de la State University of New York at Albany (primeros y únicos estudiantes latinoamericanos en participar durante 3 años consecutivos en este programa altamente competitivo), en la University of Glasgow, en la University of Texas at Austin, en el Massachusetts Institute of Technology, en el Centro de

Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM en Ensenada, en MINATEC-Institute Polytechnique Grenoble, en la Universidad de Guadalajara, en el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA-UNAM), en la Escuela de Verano de Nanopartículas en Biomedicina de la Universidad Autónoma de Madrid, en la University of Arkansas, en la University of Waterloo (programa de intercambio académico), en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), en la University of Texas at Dallas, en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV-Monterrey), en la Facultad de Química de la UNAM, en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), y en las instalaciones de la UDLAP. Las evaluaciones de las experiencias de estancias de investigación entre los alumnos participantes, muestran que éstas constituyen un mecanismo muy valioso para afianzar el interés de los estudiantes en el campo, y constituyen sin duda una razón de gran peso en la decisión de los alumnos para continuar su formación profesional a nivel posgrado al terminar la carrera (90% de los participantes en estancias de investigación aplican al terminar a un programa de posgrado en NyN).



Formación en Nanotecnología

Problemas que atiende un programa de pregrado en NyN

En el Estado de Puebla, y en general en México y América Latina, existe un grave rezago en cuanto a la formación y retención de recursos humanos de alto nivel en áreas científicas y tecnológicas. La llamada “fuga de cerebros” sigue siendo un grave fenómeno que exporta, muchas veces de forma irreversible, capital humano con altos niveles de preparación académica ante la ausencia de oportunidades laborales para su desarrollo en la entidad. En el ranking de Ciencia, Tecnología e Innovación en México del año 2011, la entidad permanece

en la posición 14, aun cuando en términos de infraestructura educativa ocupa la segunda posición a nivel nacional. Entidades que nos anteceden en este estudio, tales como el Distrito Federal, Nuevo León, Morelos, Jalisco, Coahuila, Querétaro, Baja California, Guanajuato, Chihuahua, Estado de México, Baja California Sur y San Luis Potosí, todas tienen en común la existencia de centros de investigación (públicos y privados), así como de Parques Tecnológicos y de Innovación que

forman parte de una estrategia para la retención de recursos humanos de alto nivel formados en distintas áreas estratégicas.

¿Cuál puede ser un área estratégica para el desarrollo? Sin lugar a dudas, la Ciencia y la Tecnología (CyT) juegan un papel central en asegurar el desarrollo en sus distintas facetas (económica, ambiental, social), y sin duda, los temas que hoy representan la frontera del conocimiento humano, tales como la biotecnología, la **Nanotecnología**, la medicina genómica y la ingeniería ecológica, entre otros, son herramientas que contribuirán a mejorar las perspectivas futuras de nuestra relación con nuestro entorno. La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), sugiere que los objetivos socio-económicos de los programas nacionales de CyT para asegurar el desarrollo deben incluir los siguientes temas, en orden prioritario (USCOTA, 1994):

- a) Exploración y explotación responsable de los recursos terrestres.
- b) Desarrollo de infraestructura adecuada y planeación general eficiente del uso de la tierra.
- c) Control y cuidado del medio ambiente.
- d) Protección y mejora de la salud humana.
- e) Producción, distribución y uso racional de la energía.
- f) Mejorar y tecnificar la producción agrícola.
- g) Mejorar los procesos de producción industrial y tecnológica.
- h) Desarrollar mejores estructuras sociales y mejorar las relaciones entre éstas.
- i) Explorar y explotar el espacio.
- j) Investigación civil.
- k) Investigación para la defensa.

Estas recomendaciones sobre las prioridades de la investigación no siempre pueden cumplirse. En la mayoría de los países en desarrollo se dificulta su aplicación, en particular por parte del sector privado, pues buscan por lo regular una recuperación pronta de la inversión, así como la maximización de sus ganancias. Por otra parte, aún cuando varios países desarrollados han implementado estrategias individuales o de grupo (Europa, Cuenca del Pacífico, Bloque Andino) para el desarrollo de programas de CyT que les permitan mantener y mejorar su nivel de vida, una globalización de la ciencia y la tecnología está aún lejos de poder ser una realidad. A lo mucho, la transferencia de CyT hacia países en desarrollo se da en forma de productos terminados y comerciales, o como una manera de mantener estándares de producción y competitividad de compañías transnacionales ahí asentadas.

La Organización de Estados Americanos (OEA) publicó en 2005 un documento titulado "Ciencia, Tecnología, Ingeniería e Innovación para el Desarrollo. Una visión para las Américas" donde discute el papel que tiene la CyT en el desarrollo social y económico de los países del

continente, esbozando estrategias y modelos que permiten fortalecer dicha visión. En este documento, la OEA identifica 4 áreas estratégicas específicas que son, por su naturaleza, interdisciplinarias y de importancia especial para nuestros países. Dichas áreas identificadas son:

1. Biotecnología
2. Tecnologías de la Información y Redes Avanzadas
3. Tecnologías limpias y energías renovables
4. **Materiales y Nanotecnología.**

Cada una de estas áreas estratégicas es importante y abarca numerosos problemas de interés social, económico, ambiental, energético, de salud pública, entre otros. La formación de recursos humanos especializados en cada una de ellas es de importancia para el futuro desarrollo libre y competitivo de cualquier sociedad.

Un programa de desarrollo científico y tecnológico que asegure la sustentabilidad y competitividad futura de los países descansa en un alto porcentaje en las capacidades de sus recursos humanos profesionales, así como en sus programas educativos. Para los países desarrollados, un gran número de estudiantes extranjeros, que muchas veces luego de terminar su formación académica no regresan a sus países de origen, constituyen una riqueza que impacta favorablemente en su desarrollo económico y científico. La sangría de recursos humanos altamente preparados se agudiza al no existir oportunidades para aplicar sus conocimientos o desarrollar sus ideas, ya sea en la forma de plazas en instituciones académicas, o en empresas o ausencia completa de políticas públicas que fomenten su integración con la planta productiva de sus países. El impacto sobre el posible desarrollo de la nación es difícil de apreciar, pero sin duda enorme.

Importancia de la interdisciplina

Por su propia naturaleza, la Nanociencia y la Nanotecnología (NyN) requiere de una atención inter- y trans-disciplinaria. En su etapa inicial (finales del siglo XIX y hasta mediados del siglo XX) con el desarrollo de la coloidoquímica, la mecánica cuántica y otras herramientas teórico-experimentales necesarias para su desarrollo, los problemas asociados con la preparación, manipulación y caracterización de materiales en escala muy pequeña fueron atendidos por especialistas en disciplinas diversas (química, física, biología, ciencia e ingeniería de materiales).

Una vez identificadas las oportunidades y retos del área, a partir de las ideas planteadas por Richard Feynman (1959) y el acuñamiento del término “nanotecnología” por Taniguchi Norio (1974), las mismas disciplinas buscaron una capacitación específica a través de cursos de especialización en donde, dependiendo del nivel de estudios, un profesionista o estudiante de posgrado tomaba cursos especiales o de actualización en temas relacionados con los problemas presentes en su

disciplina. Por ejemplo, si su perfil era el de un físico, un curso en el escalamiento de las fuerzas físicas en escalas nanométricas, que permitiera la racionalización del confinamiento electrónico, se hacía necesario. Igualmente, cursos en química supramolecular, métodos de preparación (físicos, biológicos o químicos), autoensamblaje, manipulación o caracterización analítica de materiales nanoestructurados, nanotoxicología, entre otros, fueron creándose e implementándose en los distintos programas académicos formales.

Lo anterior, sin embargo, por lo regular implica uno o máximo tres cursos complementarios, tomados como materias electivas o estudios selectos para medianamente "especializar" al individuo en el área y luego éste era arrojado al ruedo profesional. Incluso en varios programas de posgrado, puesto que el enfoque central era la formación y especialización en un área tradicional (física, química, biología...), el enfoque en nanociencias (por su carácter interdisciplinario) es aun mal visto, ya que se piensa que el alumno pierde tiempo y se distrae de su obligación principal (una formación monotemática tradicional) por atender cursos en temas de índole distinta al de su perfil oficial. No es sorprendente, por tanto, encontrar que uno de los principales problemas que hoy en día existen en los programas de posgrado en NyN en México (y otros países) sea el encontrar alumnos con los perfiles (e intereses) correctos y apropiados para continuar una preparación exitosa en el campo. En ese sentido, un programa de licenciatura en NyN aporta una solución apropiada a dicho problema, capacitando a los futuros alumnos de dichos posgrados en la interdisciplina necesaria para enfrentar los problemas complejos propios del área.



Licenciatura en Nanotecnología e Ingeniería Molecular en la Universidad de las Américas Puebla

Conclusión

A lo largo de los últimos 7 años, el proyecto ha tenido distintos tipos de resultados, cuyos impactos pueden medirse en términos de números, como de efectos a mediano y largo plazo. Independientemente del número creciente de estudiantes inscritos en el programa de Nanotecnología e Ingeniería Molecular, otros estudiantes, tanto de la institución como de otras universidades, de

programas de licenciatura en Biología, Ciencias Farmacéuticas, Química, Bioquímica Clínica y de posgrados como la maestría en Biotecnología y Ciencia de Alimentos (UDLAP) y el doctorado en Química (especialidad en Inorgánica) de la BUAP han participado en los temas de investigación relacionados a este proyecto, formándose de manera interdisciplinaria en proyectos de NyN.

Es claro que la formación de recursos humanos especializados en ciencia y tecnología contribuyen desde diferentes niveles al desarrollo de un país: desde los problemas energéticos futuros y el medio ambiente, donde aportarán herramientas y conceptos importantes para encontrar fuentes económicas y renovables, para la búsqueda de técnicas eficientes para la captura de gases contaminantes como el dióxido de carbono, CO₂, el uso limpio del carbón como combustible y poco contaminante, la reconsideración de las plantas nucleares como una opción segura y adecuada, el diseño de redes de distribución energética eficientes e inteligentes, la construcción de nodos de almacenamiento de energía, la arquitectura “verde” y los edificios sustentables, la implementación de sistemas de transporte (masivo e individual) de bajo consumo energético, mínima huella ecológica e impulsados por biocombustibles u otras fuentes de energía alternativas, etc. Hasta la generación de estrategias que complementen los esfuerzos sociales, políticos y económicos que intentarán resolver los problemas causados por la explosión demográfica, el cambio climático, la escasez de agua y la contaminación.

Este proyecto educativo de largo alcance nos ha permitido incursionar en la institución en nuevas líneas de investigación que quizá no se hubieran explorado ante la ausencia del mismo. Actualmente estudiamos las interacciones entre sistemas biológicos y nanomateriales, un área hoy conocida como “nanomedicina” pero que hace una década se encontraba apenas dando sus primeros pasos. Cuando desde 2008 iniciamos en nuestro grupo el desarrollo de modelos simples para la evaluación de toxicidad de nanomateriales (en bacterias, hongos, cultivos celulares, modelos animales simples) eran escasos los grupos nacionales haciendo trabajos similares. Más del 60% de los productos académicos (publicaciones, trabajos en congresos) que nuestro grupo de investigación ha generado en los últimos 5 años giran alrededor de temas de Nanomedicina y Nanotoxicología. Más recientemente hemos iniciado colaboraciones con diversos grupos de investigación externos, con quienes participamos en proyectos que atienden problemas de aplicación y evaluación de nanomateriales en problemas de ganadería, agricultura, medio ambiente y salud, colaboraciones que sin duda, tienen el potencial de un impacto social y económico importante en el corto y mediano plazo.

Los próximos años nos permitirán evaluar con precisión el impacto de la decisión de crear un programa en Nanotecnología en Puebla para la formación de recursos humanos especializados. Hemos sido testigos del crecimiento y proliferación de programas educativos similares en otras instituciones del país, no sin un dejo de preocupación al respecto. ¿Cómo controlar la calidad? ¿Cómo homogeneizar los contenidos? ¿Cuál será el modelo de enseñanza más apropiado a implementar o acaso será mejor que exista una amplia diversidad en la enseñanza de las

nanociencias? ¿No se estará saturando un mercado laboral, todavía muy pequeño, de una manera peligrosa e incontrolada? Una vez que los alumnos concluyan sus licenciaturas y, si las condiciones económicas, sociales y laborales de cada uno lo permiten, continuarán en posgrados (nacionales o extranjeros) y finalmente, en el mejor de los casos, buscarán re-incorporarse en trabajos en su país. Cuando esto empiece a suceder (y solo faltan 4-5 años para ello), ¿estaremos preparados como país para absorberlos? ¿O debemos esperar que su destino sea, como ha ocurrido en otras experiencias del pasado, la fuga de cerebros y con ello, las pérdidas económicas, tecnológicas y científicas a las que los últimos 30 años nos han –casi- acostumbrado? La moneda está en el aire.

Referencias

Diagnóstico y Prospectiva de la Nanotecnología en México, Secretaría de Economía, CIMAV, 2008.

MALSCH, Ineke, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 100, pp. 1-7, 2008.

MEYYAPPAN, M., *Journal of Materials Education*, Vol. 26 (3-4), pp. 311-320, 2004.

TAKEUCHI, Noboru (Ed.) *Nanociencia y nanotecnología. Panorama actual en México*, 1ª edición, Universidad Nacional Autónoma de México, 2011.

PERO, Hervé. "From nanotechnology to new production systems: the EU perspective", enBartos, P.J.M.; Hughes, J.J.; Tritik, P. (Eds): *Nanotechnology in construction*, The Royal Society of Chemistry, pp. 3-11, 2004.

Ranking Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2011, Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A. C., Noviembre 2011.

ROCO, C. Mihail; Mirkin, A. Chad; Hersam, C. Mark. *Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020*, Springer, Boston and Berlin, National Science Foundation, 2010

ROCO, C. Mihail. *International Journal of Engineering Education*. 18(5), pp. 1-16, 2002.

SHAPTER, J. G.; Hale, P.; Maddox, L. M.; Ford, M. J.; Waclawik, E. R. *The Journal of Materials Education*. 26(3-4), pp. 191-200, 2004.

TANIGUCHI, Norio. “On the basic concept of ‘Nano-Technology’”, *Proceedings of the International Conference on Production Engineering*, Tokyo, Parte II, Japan Society of Precision Engineering, 1974.

U.S. Congress, Office of Technology Assessment (USCOTA), *Perspectives on the role of Science and Technology in Sustainable Development*, OTA-ENV-609. Washington, DC, U.S. Government Printing Office, September, 1994.