

Perspectivas para la innovación en educación con nanociencia y nanotecnología

MARÍA LUISA GARCÍA-BETANCOURT¹



Resumen

El propósito de este trabajo de revisión es mostrar algunos de los aspectos fundamentales y recientes, utilizados en la educación en nanociencias y nanotecnología, considerando y poniendo énfasis en una enseñanza integral que proporcione conocimientos y habilidades a profesionistas en formación en licenciaturas o ingenierías en nanociencias y nanotecnología, así como en carreras que incluyan el prefijo nano.

Palabras clave: Nanoeducación, Nanociencias, Nanotecnología, Enseñanza, Interdisciplina.

Perspectives for Innovation in Education with Nanoscience and Nanotechnology

Abstract

The purpose of this review is to show some of the fundamental and recent aspects for nanoscience and nanotechnology education, considering and emphasizing an integral teaching that provides knowledge and skills to professionals in bachelors of nanoscience and nanotechnology, as well as in careers that include the prefix nano.

Keywords: Nanoeducation, Nanoscience, Nanotechnology, Teaching, Interdiscipline.

Recibido: 6 de octubre de 2016
Aceptado: 12 de diciembre de 2017
Declarado sin conflicto de interés

1 Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. luisa.maria.betan@gmail.com

Introducción

Como se sabe, la nanociencia y nanotecnología son disciplinas emergentes relacionadas con la comprensión, manipulación y fabricación de objetos cuyas dimensiones van desde unos pocos nanómetros a menos de 100 nanómetros. Ello ofrece la posibilidad de trabajar en distintos niveles que van desde el atómico hasta el supramolecular para producir materiales multifuncionales nanoestructurados con escalas jerárquicas (Chau, Wu y Yen, 2007; Roco, 2005; Whitesides, 2004). Las nanociencias y la nanotecnología, en conjunto con la producción de nanomateriales, se han desarrollado ampliamente teniendo impacto muy notorio en diversos campos como electrónica, salud, medio ambiente, energía, remediación ambiental, alimentación, etc. (Ditta y Arshad, 2016; Lu y Lieber, 2007; Moghimi, 2005; Ngô y Natowitz, 2016; Patil *et al.*, 2015). Estos campos están relacionados con problemáticas actuales, nacionales e internacionales, y requieren de la participación de expertos que los aborden con una visión inter y multidisciplinaria. Es por ello el surgimiento de carreras, grupos de investigación e instituciones con un encauzamiento interdisciplinario y/o multidisciplinario. Las diferencias y similitudes entre estas dos palabras se refieren básicamente a la coexistencia de las diferentes disciplinas, pero que ofrecen soluciones, análisis, resultados y soluciones desde el punto de vista de dos o más disciplinas al mismo tiempo (interdisciplina) o desde el punto de vista individual de todas las disciplinas (multi-disciplina).

En particular, la creación de licenciaturas o ingenierías de naturaleza interdisciplinaria que incluyen el prefijo “nano” se ha realizado a la par con el desarrollo en nanociencias y nanotecnología a nivel global, principalmente como parte de un plan de desarrollo estratégico o iniciativas nacionales con objetivos muy específicos y enfocados en el desarrollo en nanotecnología. Por ejemplo, la Iniciativa de Desarrollo en Nanotecnología (NNI: National Nanotechnology Initiative, 2014) a largo plazo en Estados Unidos de América; la Estrategia en Nanotecnología en Alberta, en Canadá (Alberta Advanced Education and Technology, 2007) y en el Reino Unido (Taylor, 2002); la Estrategia para la Nanotecnología (European Commission, 2004) y la Estrategia de Nanoseguridad en Europa (Savolainen *et al.*, 2013). China y Japón establecieron que las nanociencias y nanotecnologías son una de sus cuatro áreas de prioridad en sus planes básicos de

desarrollo en ciencia y tecnología (Guan y Ma, 2007). Estas iniciativas cuentan con algunas estrategias en común, como incrementar y renovar la infraestructura, realizar investigación que dé lugar a aplicaciones que generen patentes y beneficien e integren a la sociedad, el desarrollo industrial, el desarrollo responsable de la nanotecnología y la educación. En particular, la educación es un aspecto que estas estrategias consideraron como uno de los pilares más importantes en el desarrollo de la nanotecnología.

En México no se cuenta con algún programa de desarrollo similar a los mencionados anteriormente; sin embargo, el país ha sido partícipe de la investigación en nanociencias y nanotecnología, ya que se incrementó el número de publicaciones del 2000 al 2012 (Muñoz-Sandoval, 2014) y actualmente existen más de 100 empresas desarrollando productos que incluyen nanomateriales o que en su proceso se utiliza nanotecnología. Algunos de estos productos están en su etapa final o ya se encuentran en el mercado (Záyago Lau *et al.*, 2015). Este hecho se favoreció, en parte, debido a la globalización y a las oportunidades de colaboración con países que sí cuentan con un plan o iniciativa en nanotecnología. Asimismo, México ha participado en el plano nanoeducativo ya que actualmente existen diversas instituciones que imparten carreras en nanociencias y nanotecnología o con el prefijo nano. En 2007 se creó la primera Licenciatura en Nanociencias e Ingeniería Molecular, en la UDLAP, luego le siguió la Licenciatura en Nanotecnología UNAM (campus Ensenada), y hacia 2011 se reportó la existencia de posgrados en centros de investigación (Takeuchi y Mora Ramos, 2011). Actualmente se imparten licenciaturas y/o ingenierías en nanotecnología en diversas universidades como la UDG, UAEH, UTEZ, UTCJ, UABC, UASLP, UPVM, UAQ, UCIENEGAM, UPSIN, UTEC Tulancingo, UJAT, UT Altamira, UT Tecaman, UT Tijuana, UTEQ, y en los Tecnológicos de Poza Rica (ITSPR), de Monterrey ITESM, TECNAM, ITSCH, y en el ITESO.

Bajo este panorama de desarrollo, la educación y la enseñanza de nuevos conocimientos y habilidades es todo un reto, el cual se magnifica para las carreras con enfoque y visión interdisciplinaria. Ya que la transmisión de información tan pasiva que se ha usado tradicionalmente en el aula, y en donde el estudiante sólo lo escucha y algunas veces participa, requiere de nuevos modelos de enseñanza creativos e innovadores que favorezcan la formación integral de nuevos profesionistas en nanociencias y nanotecnología, utilizando el lenguaje, el contexto y los recursos

con los que se cuenta actualmente. Esto debido a que la educación ha sido reconocida como un factor fundamental para el crecimiento en los campos de la nanociencia y la nanotecnología y en la solidificación y la expansión de sus roles en la economía global (Jackman *et al.*, 2016). Por tales razones, en este trabajo se comparten algunos aspectos importantes considerados desde la experiencia docente, los cuales fueron enfocados directamente con el estado del arte de los aspectos contextuales, fundamentales y recientes para la educación en nanociencias y nanotecnología.

Factores contextuales en la nanoeducación

Enseñanza con visión interdisciplinaria

En este sentido, las competencias adquiridas por los estudiantes deben ser fuertes en todas las disciplinas ya que ellas convergen en las nanociencias y la nanotecnología. Sin embargo, se debe hacer énfasis en los fundamentos de química y física para entender el auto ensamble y diseño de nuevos materiales, así como para entender las propiedades de éstos en comparación con el bulto. La física ayuda a entender, además de las propiedades físico químicas, la interacción de la radiación con la materia utilizada en las distintas técnicas de caracterización de nano materiales. De manera más especializada, podríamos citar ejemplos de las aplicaciones potenciales de los nano ensamblados dando pie a la nanoingeniería, nanoelectrónica, nanomedicina, nanobiotecnología, etc. en donde se requieren conocimientos enfocados a determinado campo. Por otro lado, todas las bases del conocimiento que el estudiante pueda adquirir le facilitarán su desenvolvimiento en el área interdisciplinaria, por ejemplo, en los temas del agua, salud pública, alimentación, medio ambiente, energía, etc. También debemos reforzar la enseñanza de las matemáticas, las cuales son la herramienta fundamental de las disciplinas antes mencionadas.

Por otro lado, el educador debe jugar distintos roles, según Jackman *et al.* (2016:55-97). En primer lugar, el profesor debe de ser inspirador, no importa cuál sea el área de conocimiento al cual haya sido asignado a impartir. ¿Cómo? Pues, haciendo notar a los estudiantes el impacto de tiene la tecnología en nuestra vida diaria, desde el acceso a dispositivos electrónicos hasta alguna terapia exitosa de cáncer. En segundo lugar, acercar a los estudiantes con personas exitosas en el desarrollo en nanociencias y nanotecnología por medio de reuniones y actividades académicas. En tercer lugar, debe promover la colabora-

ción dentro y fuera de la institución pues enfrentará al estudiante a diversos puntos de vista, formaciones académicas y disciplinarias, lo cual le permitirá abrir sus expectativas y aprenderá a manejar el trabajo en equipo interdisciplinario. En cuarto lugar, promover la experiencia fuera de aula y del laboratorio, es decir programar visitas a empresas manufactureras relacionadas con el tema de enseñanza en proceso, o mejor aún, que tengan relevancia en la licenciatura o ingeniería que se cursa. En quinto lugar, fomentar la comunicación en diversos campos de la ciencia, y hacia públicos diversos, ya que al final de su formación serán vistos como semilleros, solucionadores de problemas en ciencia y tecnología, por medio del desarrollo de nuevas herramientas, materiales, métodos y oportunidades.

El profesor convenientemente debe realizar inducciones frecuentes de la materia con el desarrollo en nanociencias y nanotecnología haciendo uso de diversos recursos que se abordarán más adelante. Este tipo de recursos como el uso de tecnologías de la información, experiencias (historias y narrativas), enseñanza con modelos, e implementación de proyectos han sido utilizados previamente para la enseñanza de conceptos en nanotecnología (Blonder y Sakhnini, 2016).

Uso del lenguaje

El uso del lenguaje es fundamental porque reflejará la experiencia del profesor, el cual debe combinar experiencia en enseñanza y experiencia en nanotecnología. Esta experiencia puede ser incrementada gradualmente, por lo que se debe considerar la preparación y desarrollo profesional de los profesores. La enseñanza en nanotecnología puede ser adquirida por medio de congresos, interacción y colaboración con expertos, cursos de competencias, cursos de nanociencias y nanotecnología. Estos cursos pueden ser diseñados y propuestos sobre la base de otros que han sido implementados para el desarrollo de educadores en nanociencias y nanotecnología alrededor del mundo y que se encuentran reportados en la literatura (Blonder, 2011; Blonder y Sakhnini, 2016; Jones *et al.*, 2013). En estos cursos se combina la inserción o introducción a la nanotecnología y algunos métodos de enseñanza de las mismas. Asimismo, Schönborn, Höst y Palmerius (2015a), sugieren que la comunicación de nanociencias puede servir como un medio conceptual para conectar y aprender alguna disciplina, por ejemplo, en química básica, a través de ejemplos como que el enlace molecular se relaciona estre-

chamente con el comportamiento oscilatorio de las moléculas en la mecánica clásica molecular para dar lugar al auto ensamble a nanoescala.

Conceptos básicos

Blonder y Sakhnini (2016:119) nos indican cuáles son los conceptos centrales que deben incluirse y manejarse en la enseñanza de nanociencias. Estos conceptos deben ser considerados tanto en la educación formal, como en la informal y se clasifican en cinco aspectos centrales: i) las definiciones, en donde se incluye la comprensión de la escala nano; ii) características de la nano escala, con lo cual se pretende explicar la importancia de los nano materiales y cuál es la diferencia con el bulto; iii) mostrar y explicar ejemplos bio inspiradores como la flor de loto, el geco, las alas de la mariposa, las plumas de los patos, etc.; iv) mostrar la gama de materiales posibles, comenzando con los nano carbonos; v) presentar algunos avances actuales en nanotecnología. Esto, además de ser una guía práctica de enseñanza de fundamentos en nano, se puede convertir en guía práctica para la organización de charlas y seminarios de difusión al público en general.

Compartir experiencias

Compartir la experiencia adquirida en nanotecnología través de la inducción en las clases (Webb, 2013). La inducción en clases algunas veces puede resultar complicada, sobre todo cuando se cuenta con poca experiencia como docente. Sin embargo, este proceso, con el tiempo, puede llegar a convertirse más habitual e interesante de lo que se cree. Para esto, se requiere recurrir a los dos puntos anteriores: enfocarnos en que la nanotecnología es un tema para el que se necesita de una visión interdisciplinaria y el uso del lenguaje en nanotecnología. Estos dos puntos se pueden adaptar con la materia que se esté impartiendo debido a que ya existe información que puede servir de gran utilidad.

Compartir los logros científicos en un lenguaje simple para los estudiantes en revistas de divulgación, estancias y charlas. Estos espacios son de gran utilidad en los que se puede participar para compartir logros y experiencias para distintas audiencias, y también, para involucrar a los estudiantes en las investigaciones y que posteriormente comuniquen su experiencia y resultados a otros estudiantes.

Formación integral

La enseñanza en nanociencias y nanotecnología

significa una gran oportunidad de dejar atrás el método de enseñanza clásico utilizando estrategias de inducción basadas en los ejemplos inspiradores mencionados anteriormente, considerando también que la formación integral es importante para que los estudiantes adquieran conocimiento, habilidades, y valores para la formación en nanociencias y nanotecnología.

Además de facilitar a los estudiantes el conocimiento en los fundamentos de las ramas de la ciencia básica, como física, química, biología y matemáticas, se debe brindar apoyo para el desarrollo de sus habilidades, teóricas, experimentales, de diseño, de comunicación, de seguridad porque esperamos que en el futuro sus oportunidades se extiendan, no sólo a la investigación y a la enseñanza, sino también a la industria y a áreas del conocimiento que beneficien a la sociedad. Las oportunidades se visualizan fundamentalmente en las necesidades del desarrollo industrial en: transporte, textiles, electrónica, fotónica, biotecnología, salud, farmacéutica, construcción, tecnologías de la información y comunicación. En la industria se requiere el desarrollo de dos competencias fundamentales en cuestiones de salud, seguridad (riesgo) y manejo residual (Malsch *et al.*, 2016). Por otro lado, los valores requeridos en el desarrollo en nanociencias y nanotecnología inician considerando su inserción en un trabajo interdisciplinario o multidisciplinario, en donde se vean reflejados los valores éticos y morales como el trabajo en equipo, cooperación, solidaridad, compañerismo, calidad, integridad, transparencia, innovación, confianza, y sobre todo, compromiso y responsabilidad social y ambiental.

Uso de las TIC

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como celulares, tabletas, computadoras, televisores, reproductores de audio, etc. significan una herramienta fundamental utilizada para la de enseñanza ya que se puede procesar, administrar y compartir contenidos del curso. El uso de las tecnologías de la información y comunicación nos coloca como profesores en un contexto en el cual los estudiantes se encuentran ya inmersos.

Visualización interactiva

Por ejemplo, la visualización interactiva es considerada una herramienta fundamental en la enseñanza para simular el acceso al nano mundo, el cual no es visible a nuestros ojos (Schönborn, Höst y Palmerius, 2016). La visualización interactiva de átomos, moléculas, nano estructuras, células y virus en celu-

lares, tabletas, computadoras y televisores es una herramienta práctica para el aprendizaje de nano conceptos con la ayuda de programas y software. Wilson (2002), sugiere que el conocimiento humano se basa fundamentalmente en nuestras interacciones corporales con el mundo y ellas tienen una influencia cognitiva en la forma en que desarrollamos el conocimiento. Por lo tanto, el uso de estos recursos, permite llevar a cabo la interacción directamente con el sentido de la vista, algunas veces acompañado de audio para involucrar al sentido del oído. Por mencionar, se presentan ejemplos puestos en práctica por otros profesores autores: i) el uso de la microscopía para visualización de células (Carvalho, Freitas, y Santos, 2015); ii) uso de realidad virtual que induce la inmersión utilizando los movimientos corporales que dan la sensación de estar en el mundo virtual (Schönborn, Höst, y Palmerius, 2015b); iii) visualización de realidad aumentada para la manipulación de moléculas (Schönborn, Höst y Palmerius, 2016); iv) juegos (Schönborn, Höst, y Palmerius, 2016); v) Simulaciones visuales interactivas (Schönborn, Höst y Palmerius, 2016).

Internet

Uso de la Internet para la enseñanza es vital en estos momentos por varias razones. La mayoría de los estudiantes cuentan con equipos electrónicos de comunicación, algunas veces más sofisticados que los del profesor. Sobre todo, el uso de Internet permite compartir recursos de manera institucional, grupal o global (Cohen *et al.*, 2016). En clase lo hemos utilizado para la búsqueda de conceptos, respuestas cortas, datos específicos, fechas e información bibliográfica. Cohen y colaboradores (2016), compartieron algunos de los recursos disponibles en Internet que nos pueden facilitar la enseñanza en el tema (National Nano-Technology Infrastructure Network <http://www.nnin.org/>, AtomicForceMicro <https://www.youtube.com/user/AtomicforceMicro>, nanoHub <https://nanohub.org/>, Nano-technology and Applications Career Knowledge Network <http://www.nano4me.org/>, etc.). Otro recurso clave son los “webinars” que son como congresos o simposios virtuales en donde se podrán encontrar temas específicos (Cohen *et al.*, 2016).

Redes sociales

Las redes sociales son de gran utilidad para contar con una plataforma interactiva entre estudiantes; de hecho se encontró que contar con este tipo de comu-

nidad aprendizaje activa tres tipos de dimensiones: presencia cognitiva, presencia social y presencia docente (Garrison, 2000). Los “podcasts” corresponden a la parte cognitiva, ya que se facilitan los archivos multimedia con cierto contenido para reforzar el aprendizaje. La presencia social se abre por medio de blogs, redes sociales, chat, etc., en donde se pueden discutir temas específicos. Mientras que la parte docente puede tomar presencia por medio de comunicación de contenido en multimedia, al definir e iniciar un tema de discusión, compartir una opinión o enfocar la discusión en un blog (Cohen *et al.*, 2016).

Las redes sociales actualmente significan una oportunidad para involucrar a la población en general con el fin de llevar a cabo los tipos de enseñanza mencionados anteriormente, el formal y el informal, aunque descritos de manera distinta pero adecuada al tipo de público. En este sentido, el uso de las redes sociales es pieza clave en dos actividades, las cuales consisten en el desarrollo de asociaciones y en la producción y distribución de material informativo. Esta estrategia fue implementada como una de las metas del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), con el objetivo de mejorar la seguridad en el trabajo y la salud mundial a través de actividades internacionales (CDC-NIOSH, 2009). Así, Facebook, LinkedIn, y Twitter son usadas extensivamente por las redes y asociaciones para mantener informados a los miembros de las asociaciones y de las redes de colaboración (Alexander *et al.*, 2012).

Malsch *et al.* (2016:113), consideran que para la nanoeducación se requieren personas profesionistas que hayan desarrollado ciertas competencias relacionadas con la comunicación entre las cuales se consideran importantes: (1) Comunicación y presentación, (2) comunicación a los no profesionales, (3) la ciencia y los medios de comunicación, (4) Recuperación de información, (5) la explotación y comercialización de la investigación, (6) el espíritu empresarial, (7) gestión de proyectos, (8) los medios sociales en/para la ciencia. Todos estos aspectos encajan adecuadamente en el uso y manejo de las redes sociales.

Uso de los recursos bibliográficos

Los recursos bibliográficos son hoy en día herramientas clave para tres cosas importantes en la educación: 1) sirven de guía para la búsqueda de información básica, especializada y actualizada tanto para el profesor y como para el estudiante; 2) pueden ser de gran utilidad para la elaboración de material educativo; y, 3) son fundamentales para la realización de

estudios bibliométricos referentes a modelos y estándares educativos en nanociencias a escala nacional o global. Hoy por hoy existe una cantidad inmensa de información a la cual podemos acceder de manera enfocada con el uso de las bases de datos especializadas. Por ejemplo, se cuenta con la base de datos ERIC (por siglas en inglés, Education Resources Information Center), que es la base de datos premier de aproximadamente 1,276 revistas sobre contenido de educación, aunque actualmente no está limitada a este tipo de revistas (Wright y Pullen, 2007; Zhu y Porter, 2002). Contamos también con otras bases de datos como Scopus, ISI Web of Knowledge, aunque son limitadas a suscriptores; dentro de la universidad podemos realizar búsquedas en conjunto con los estudiantes.

Perspectivas

Es importante resaltar estos aspectos en los que hay que trabajar para hacer notar las necesidades ante la inminente llegada de la nanotecnología en México. Además de resaltar estos cuatro aspectos, debemos considerar que requieren de más trabajo e investigación.

Impacto en la sociedad

La inminente aparición de los nanomateriales en diversos productos del mercado marcará un papel importante en nuestra vida cotidiana, dado que en estos momentos, las iniciativas de desarrollo en nanotecnología en países desarrollados han logrado importantes avances; sin embargo, se sigue investigando. Roco (2015), estimó que en 20 años (del 2000 al 2020) ocurriría un avance rápido en nanotecnología, tanto en conocimiento básico como en la creación de infraestructura para aplicaciones. Por lo tanto, la sociedad en contacto con lo nano requiere del cultivo de la llamada "alfabetización nano" en la que se necesita tomar conciencia de los problemas sociales relacionados al tema. De acuerdo con Schönborn, Höst y Palmerius (2015a), el público cuenta con un conocimiento limitado sobre nano, así que es necesario desarrollar y ejecutar intervenciones de educación para avanzar en el compromiso público.

Según Gilbert y Lin (2012), la educación en nano debe ser del tipo *formal* para los profesionistas en capacitación e *informal* para el público en general. Por ejemplo, en la educación formal los estudiantes están obligados a atender los cursos para el aprendizaje mientras que en la educación informal, el aprendizaje

es de libre elección. El conocimiento, del que deben ser provistos los educadores, involucra tener claras las propiedades de los materiales nivel nano, la causalidad (efecto cuántico), auto ensamblaje, las herramientas de operación e instrumentación, y algo muy fundamental, las nociones de riesgo y beneficio, las cuales deben ser claras, debido a que usualmente se malinterpretan. En este sentido, es muy probable que haya un incremento en la incertidumbre respecto al riesgo, conforme aumenten las aplicaciones previstas por la nanotecnología; aunque el beneficio sea una realidad, deben ser evaluadas en proyectos de implicaciones sociales (Roco y Bainbridge, 2005).

Regulación

Ha surgido una preocupación y debate públicos con respecto al riesgo de los nanomateriales debido a que su nanoestructura exhibe propiedades distintas al bulto, y podrían implicar problemas de riesgo y seguridad desconocidos. El impacto de las nanopartículas en el cuerpo (es decir nano toxicidad) depende de las propiedades como el tamaño de partícula, masa, composición química, propiedades de la superficie, y cómo se agregan las nanopartículas individuales. Por otra parte, el ingreso al cuerpo puede ocurrir mediante distintas vías por lo que los sitios de penetración celular, la agregación y la translocación implica riesgos potenciales a una escala nanométrica (Oberdörster, Ferin, y Lehnert, 1994; Oberdörster et al., 2005). Por su parte, Dreher (2004), sugiere cinco criterios importantes para la evaluación de la toxicidad de los nanomateriales: (1) evaluación de la exposición de nanopartículas; (2) la toxicología de las nanopartículas; (3) capacidad de extrapolar toxicidad de las nanopartículas utilizando bases de datos toxicológicos existentes; (4) el destino ambiental y biológico, el transporte, la persistencia, y la transformación de las nanopartículas; y (5) el reciclado y la sostenibilidad general de los nanomateriales.

Producción industrial

Informar sobre los avances regionales, nacionales e internacionales en nanotecnología considerando: i) el estatus del desarrollo y aplicaciones industriales de las nanoestructuras como partículas, alambres, tubos, hojas, ensambles modulares, etc.; ii) las redes de colaboración en proyectos interdisciplinarios entre instituciones educativas y las empresas, así como la revisión de los logros en esos proyectos; iii) la existencia de los productos en el mercado y teniendo en cuenta su impacto económico, social y

ambiental. Todo ello con el objetivo de encontrar áreas de oportunidad en las que los estudiantes pueden participar y sobre todo porque en estos momentos nos encontramos en el desarrollo nanotecnológico, el cual fue visualizado a ser logrado cerca del 2020 por Roco y colaboradores (Roco, Mirkin y Hersam, 2011).

Es un área de oportunidad para la enseñanza en diversos sentidos, enfocándonos en los procesos nanotecnológicos debido a que se pueden realizar actividades en las que los estudiantes pueden plantear posibles problemas que pueden ser resueltos usando la nanotecnología, o en el caso contrario, se pueden proponer problemas que pudieran surgir en el desarrollo nanotecnológico y cómo hacerles frente. Esto traerá consigo adentrarse en campos profesionales de diversas áreas; es decir el estudiante se enfrentará a la multidisciplina o interdisciplina. El estudiante, a la vez que adquiere experiencia, y se adentra en un determinado campo profesional, encontrará que puede tomar conciencia de los problemas de las futuras generaciones y poner en una balanza el desarrollo industrial contra el impacto ambiental y así proponer acciones remediales (Nonninger *et al.*, 2016).

Patentes

Las patentes, como las publicaciones, han sido resultado de las estrategias o iniciativas implementadas en diversos países (Cohen *et al.*, 2016; European Commission, 2004; European Commission, 2011; Huang *et al.*, 2004; Taylor, 2002), algunas de ellas mencionadas al inicio del presente documento. Así, globalmente, el número de patentes se ha incrementado exponencialmente, tal como nos lo ha hecho notar Roco (2011). Aunque en México no exista una iniciativa o plan de desarrollo en nanotecnología, hemos sido partícipes del desarrollo e investigación en nanociencias y nanotecnología (Muñoz-Sandoval, 2014) y, consecuentemente, el número de patentes también se ha incrementado en los últimos años (Juanico *et al.*, 2016), aunque no de la manera en que se ha efectuado en otros países (Guan y Liu, 2016). Mucho de este desarrollo, aunque a paso lento, se debe a la creación y fortalecimiento de las redes de colaboración nacionales e internacionales. Este es un gran paso sugerido por distintos autores para lograr el desarrollo en nanotecnología (Guan y Liu, 2016; Roco, Mirkin, y Hersam, 2011).

En México, el tema de las patentes es actualmente un área muy grande de oportunidad y la labor del docente investigador debe sobrepasar el

método de enseñanza tradicional, en donde usualmente se comunica el conocimiento en forma pasiva o en donde el investigador sólo trata de formar nuevos investigadores, y pasar a la etapa que consiste en formar gente emprendedora e innovadora. Para tal fin es necesario estar informados de las opciones de patrocinio, motivar a crear e intentarlo una y otra vez y, sobre todo, involucrarse en redes de colaboración.

Conclusiones

Las personas que educamos profesionales en nanociencias y nanotecnología tenemos la gran oportunidad de resaltar y extender el impacto y soporte en este campo ya que actualmente la nano educación es relativamente joven.

Por otro lado, el avance acelerado en nanotecnología sugiere la necesidad de desarrollar iniciativas de educación formal e informal. Respecto a la educación formal, enseñar cubriendo los requerimientos académicos en las carreras enfocadas en nanociencias y nanotecnología y, si es posible, influir también en carreras que no cuenten con este enfoque. La sociedad requiere estar informada, por lo tanto, el rol del educador debe trascender de manera tal que los estudiantes adquieran no sólo conocimientos sino también la habilidad de comunicar (divulgar) las nanociencias y nanotecnología a la sociedad.

La importancia de resaltar el enfoque interdisciplinario radica en enfatizar el papel de las diversas disciplinas que colaboran en la nanotecnología y que además en conjunto pueden contribuir a resolver problemas regionales, nacionales o internacionales actuales. Todo este desempeño que le espera al estudiante será posible si desde su formación le invitamos a que, además de adquirir los conocimientos, desarrolle la capacidad de tener una visión amplia y de actualidad enfocándose en la problemática de manera contextual.

El uso de las tecnologías de la información es un apoyo que nos pone en un contexto social actual, en el que la educación puede tomar matices diversos, y claro, sin olvidarnos de la formación integral en donde resaltamos la enseñanza de conocimientos, habilidades y valores en nanociencias y nanotecnología; en resumen, las tecnologías de la información se puede empatar con la formación integral para dar pie a la nueva educación totalmente contextualizada en nanociencias y nanotecnología.

Referencias

- ALEXANDER, J. M., SVAROVSKY, G., GOSS, J., ROSINO, L., MESITI, L. A. *et al.* (2012). A Study of Communication in the Nanoscale Informal Science Education Network. http://www.nisenetwork.org/sites/default/files/catalog/eval/uploads/2012/06/444/network_communication_study_year_6_developmental_evaluation.pdf
- BLONDER, R. (2011). The story of Nanomaterials in Modern Technology: An Advanced Course for Chemistry Teachers, *Journal of Chemical Education*, 88(1), 49-52. doi:10.1021/ed100614f
- BLONDER, R. y SAKHNINI, S. (2016). *What Are the Basic Concepts of Nanoscale Science and Technology (NST) that Should Be Included in NST Educational Programs?*. In *Global Perspectives of Nanoscience and Engineering Education*. Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-31833-2
- CARVALHO, F. A., FREITAS, T. y SANTOS, N. C. (2015). Taking Nanomedicine Teaching into Practice with Atomic Force Microscopy and Force Spectroscopy, *Advances in Physiology Education*, 39(4), 360-366. doi:10.1152/advan.00119.2014
- CDC-NIOSH, U. (2009). Strategic Plan for NIOSH Nanotechnology Research and Guidance: Filling the Knowledge Gaps. Department Of Health And Human Services, 1-72. http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/pdfs/NIOSH_Nanotech_Strategic_Plan.pdf
- CHAU, C. F., WU, S. H. y YEN, G. C. (2007). The Development of Regulations for food Nanotechnology, *Trends in Food Science and Technology*, 18(5), 269-280. doi:10.1016/j.tifs.2007.01.007
- COHEN, S. R., BLONDER, R., RAP, S. y BAROKAS, J. (2016). *Online Nanoeducation Resources*. In *Global Perspectives of Nanoscience and Engineering Education*. Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-31833-2
- ALBERTA ADVANCED EDUCATION AND TECHNOLOGY (2007). *Alberta Nanotechnology Strategy*. http://www.albertatechfutures.ca/Portals/0/Business%20and%20Industry%20Support/nanotechnology_strategy_complete2.pdf?ver=2013-09-23-095926-000
- DITTA, A. y ARSHAD, M. (2016). Applications and Perspectives of Using Nanomaterials for Sustainable Plant Nutrition, *Nanotechnology Reviews*, 5(2), 209-229. doi:10.1515/ntrev-2015-0060
- DREHER, K. L. (2004). Health and Environmental Impact of Nanotechnology: Toxicological Assessment of Manufactured Nanoparticles, *Toxicological Sciences*, 77(1), 3-5. doi:10.1093/toxsci/kfh041
- EUROPEAN COMMISSION (2004). *Towards a European strategy for nanotechnology*. European Commission. https://cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano_com_en_new.pdf
- EUROPEAN COMMISSION (2011). *Successful European Nanotechnology Research: Outstanding science and technology to match the needs of future society*. https://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/successful-eu-nanotech-research_en.pdf
- GARRISON, D. R., ANDERSON, T. y ARCHER, W. (1999). Critical Inquiry in a Text-Based Environment: Computer Conferencing in Higher Education, *The Internet and Higher Education*, 2(2), 87-105. doi.org/10.1016/S1096-7516(00)00016-6
- GILBERT, J. K. y LIN, H. (2012). How Might Adults Learn About New Science and Technology? The Case of Nanoscience and Nanotechnology, *International Journal of Science Education, Part B*, 3(3), 267-292. <http://doi.org/10.1080/21548455.2012.736035>
- GUAN, J. y LIU, N. (2016). Exploitative and Exploratory Innovations in Knowledge Network and Collaboration Network: A Patent Analysis in the Technological Field of Nano-Energy, *Research Policy*, 45(1), 97-112. doi:10.1016/j.respol.2015.08.002
- GUAN, J. y MA, N. (2007). China's Emerging Presence in Nanoscience and Nanotechnology. A Comparative Bibliometric Study of Several Nanoscience "Giants", *Research Policy*, 36(6), 880-886. doi:10.1016/j.respol.2007.02.004
- HUANG, Z., CHEN, H., CHEN, Z. K. y ROCO, M. C. (2004). International Nanotechnology Development in 2003: Country, Institution, and Technology Field Analysis Based on USPTO Patent Database, *Journal of Nanoparticle Research*, 6(4), 325-354. doi:10.1007/s11051-004-4117-6
- JACKMAN, J. A., CHO, D., LEE, J., CHEN, J. M., BESENBA-CHER, F., *et al.* (2016). Nanotechnology Education for the Global World: Training the Leaders of Tomorrow, *ACS Nano*, 10(6):5595/5599. doi:10.1021/acs.nano.6b03872
- JONES, M. G., BLONDER, R., GARDNER, G. E., ALBE, V., FALVO, M. y CHEVRIER, J. (2013). Nanotechnology and Nanoscale Science: Educational Challenges, *International Journal of Science Education*, 35(9), 1490-1512. doi:10.1080/09500693.2013.771828
- JUANICO, A., CAMACHO, C., VILLEGAS, D., MORALES, G. (2016). Nanoscience and Nanotechnology in Mexico: Origins Evolution and Progress, *Revista de Física* (51E), 46-53.
- ZÁYAGO LAU, E., FOLADORI, G., VILA VÁZQUEZ, L., APPELBAUM, R. P. y ARTEAGA FIGUEROA, R. (2015). Análisis económico sectorial de las empresas de nanotecnología en México, *Documentos de Trabajo* (IELAT, Instituto de Estudios Latinoamericanos), 79, 1-31.
- LU, W. y LIEBER, C. M. (2007). Nanoelectronics from the Bottom Up, *Nature Materials*, 6(11), 841-50. doi:10.1038/nmat2028
- MALSCH, I., RUTKOWSKA-ZBIK, D., DUSCHL, A., HIMLY, M. *et al.* (2016). *Nanoeducation for Industry and Society*. In *Managing Risk in Nanotechnology* (pp. 93-115). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-32392-3
- MOGHIMI, S. M. (2005). Nanomedicine: Current Status

- and Future Prospects, *The FASEB Journal*, 19(3), 311-330. doi:10.1096/fj.04-2747rev
- MUÑOZ-SANDOVAL, E. (2014). Trends in Nanoscience, Nanotechnology, and Carbon Nanotubes: a Bibliometric Approach, *Journal of nanoparticle research*, 16(1), 1-22. doi:10.1007/s11051-013-2152-x
- TAKEUCHI, N. y MORA RAMOS, M. E. (2011). Divulgación y formación en nanotecnología en México, *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 4(2).
- NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE (2014). National Nanotechnology Initiative Strategic Plan. http://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/2014_nni_strategic_plan.pdf
- NGÔ, C. y NATOWITZ, J. (2016). Our Energy Future: Resources, Alternatives and the Environment. Chapter 18. New Jersey: John Wiley & Sons. 2nd edition.
- NONNINGER, R., DEGE, J., WILKE, T., WAITZ, T. (2016). *Nanoscience Education in School Chemistry: Perspectives for Curricular Innovations in Context of an Education for a Sustainable Development*. In *Global Perspectives of Nanoscience and Engineering Education* (pp. 237-274). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-31833-2
- OBERDÖRSTER, G., FERIN, J. y LEHNERT, B. E. (1994). Correlation Between Particle Size, in Vivo Particle Persistence, and Lung Injury, *Environmental health perspectives*, 102 (Suppl 5), Biopersistenc, 102, 173-179.
- OBERDÖRSTER, G., MAYNARD, A., DONALDSON, K., CASTRANOVA *et al.* (2005). Principles for Characterizing the Potential Human Health Effects from Exposure to Nanomaterials: Elements of a Screening Strategy, *Particle and Fibre Toxicology*, 2, 8. doi:10.1186/1743-8977-2-8
- PATIL, S. S., SHEDBALKAR, U. U., TRUSKEWYCZ, A., CHOPADE, B. A., BALL, A. S. (2015). Nanoparticles for Environmental Clean-Up: A Review of Potential Risks and Emerging Solutions, *Environmental Technology & Innovation*, 5, 10-21. doi:10.1016/j.eti.2015.11.001
- ROCO, M. C. (2005). International Perspective on Government Nanotechnology Funding in 2005, *Journal of Nanoparticle Research*, 7(6), 707-712. doi:10.1007/s11051-005-3141-5
- ROCO, M. C. (2011). The Long View of Nanotechnology Development: The National Nanotechnology Initiative at 10 years, *Journal of Nanoparticle Research*, 13(2), 427-445. doi:10.1007/s11051-010-0192-z
- ROCO, M. C. y BAINBRIDGE, W. S. (2005). Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology: Maximizing Human Benefit, *Journal of Nanoparticle Research*, 7(1), 1-13. doi:10.1007/s11051-004-2336-5
- ROCO, M. C., MIRKIN, C. A. y HERSAM, M. C. (2011). Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Summary of International Study, *Journal of Nanoparticle Research*, 13(3), 897-919. doi:10.1007/s11051-011-0275-5
- SAVOLAINEN, K., BACKMAN, U., BROUWER, D., FADEL, B. *et al.* (2013). Nanosafety in Europe 2015-2025: Towards Safe and Sustainable Nanomaterials and Nanotechnology Innovations Nanosafety in Europe. http://www.ttl.fi/en/publications/Electronic_publications/Nanosafety_in_europe_2015-2025/Documents/nanosafety_2015-2025.pdf
- SCHÖNBORN, K. J., HÖST, G. E., y PALMERIUS, K. L. (2015)a. Measuring Understanding of Nanoscience and Nanotechnology: Development and Validation of the Nano-Knowledge Instrument (NanoKI), *Chemistry Education Research and Practice*, 16(2), 346-354. doi:10.1039/C4RP00241E
- SCHÖNBORN, K. J., HÖST, G. E. y PALMERIUS, K. E. L. (2015)b. Nano Education with Interactive Visualization. *Nano Today*, en prensa. doi:10.1016/j.nantod.2015.10.006
- SCHÖNBORN, K. J., HÖST, G. E. y PALMERIUS, K. E. L. (2016). Interactive Visualization for Learning and Teaching Nanoscience and Nanotechnology. In *Global Perspectives of Nanoscience and Engineering Education* (pp. 195-222). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-31833-2
- TAYLOR, J. M. (2002). New Dimensions for Manufacturing: a UK Strategy for Nanotechnology. OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY LONDON (UNITED KINGDOM). [http://nanotech.law.asu.edu/Documents/2009/07/Michael%20Vincent%20DTI%20\(2002\),%20A%20UK%20Strategy%20for%20Nanotechnology_178_9597.pdf](http://nanotech.law.asu.edu/Documents/2009/07/Michael%20Vincent%20DTI%20(2002),%20A%20UK%20Strategy%20for%20Nanotechnology_178_9597.pdf)
- WEBB, S. (2013). Get The Word Out, *Nature*, 504, 177-179. doi:10.1038/nj7478-177a
- WHITESIDES, G. M. (2004). Whitesides' Group: Writing a Paper, *Advanced Materials*, 16(15), 1375-1377. doi:10.1002/adma.200400767
- WILSON, M. (2002). Six Views of Embodied Cognition, *Psychonomic Bulletin & Review*, 9 (4), 625-636. doi:10.3758/BF03196322
- WRIGHT, T. y PULLEN, S. (2007). Examining the Literature: A Bibliometric Study of ESD Journal Articles in the Education Resources Information Center Database, *Journal of Education for Sustainable Development*, 1(1), 77-90. doi:10.1177/097340820700100114
- ZHU, D. y PORTER, A. L. A. L. (2002). Automated Extraction and Visualization of Information for Technological Intelligence and Forecasting, *Technological Forecasting and Social Change*, 69(5), 495-506. doi:10.1016/S0040-1625(01)00157-3