

ARTÍCULO

PROPUESTAS PARA INTRODUCCIÓN DE NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA EN ESCUELAS PRE UNIVERSITARIAS

Allan Victor Ribeiro, Moacir Pereira de Souza Filho y Alexys Bruno-Alfonso

Propuestas para introducción de Nanociencia y Nanotecnología en escuelas pre universitarias

Resumen

Se sugieren prácticas pedagógicas efectivas para la enseñanza de Nanociencia y Nanotecnología en escuelas pre universitarias. Las propuestas se basan en la experiencia científica y didáctica de los autores, en el estudio de la literatura disponible y en un trabajo de diagnóstico sobre el conocimiento e interés de los alumnos. El cual, fue realizado en una escuela pre universitaria de la ciudad de Bauru, SP, Brasil.

Palabras clave: Nanociencia; Nanotecnología; enseñanza.

Proposals for the introduction of Nanoscience and Nanotechnology in the pre university education

Abstract

Effective pedagogical practices for teaching Nanoscience and Nanotechnology in the pre-university education are suggested. The proposals are based on the scientific and didactical experience of the authors, on the study of the available literature and on a diagnosis of the knowledge and interest of the students. Which was conducted at a pre-university school in the city of Bauru, SP, Brazil.

Keywords: Nanoscience; Nanotechnology; teaching.

Introducción

Un sondeo, realizado recientemente en Brasil, sobre las actividades de divulgación y formación en Nanociencia y Nanotecnología (N&N), mostró que no hay registro de abordaje sistemático de esos temas en la Enseñanza Fundamental y Media, aunque ya existe alguna producción bibliográfica relacionada con la inserción de este tema en la Enseñanza Media. El trabajo reporta que, aunque existen muchos cursos en el área de ciencias, solamente tres cursos universitarios son destinados específicamente a N&N. En relación con las actividades de divulgación, los eventos especializados y de impacto directo en la población son responsables de informar sobre los principales resultados

de las investigaciones en ese país. [1]

Ante esta realidad, y la de las serias dificultades por las que pasa la educación básica en Brasil (formación de profesores, infraestructura básica e interés de los estudiantes), parece utópica la enseñanza de N&N. Sin embargo, se trata de una necesidad cultural y económica, pues la alfabetización científica es capaz de calificar y motivar a los jóvenes: [1] preparar “nuevas mentes” para una “nueva era”. [2]

En este sentido, una de las metas del plan de estudios que ha sido implementada en los Estados Unidos, es la de la formación de futuras generaciones de investigadores en Nanociencia. ¿Pero la Nanociencia debería ser considerada una nueva disciplina? Se cree que no, pues debemos comprender que la Nanociencia es un campo de estudio inter-disciplinar y puede estar presente en los contenidos de diversas asignaturas. Greenberg [3] presenta los resultados del proyecto *NanoLeap*; que apunta que los alumnos de nivel medio fueron capaces de aprender sobre aspectos simples de la Nanociencia, utilizando un vocabulario correcto y dando algunas descripciones superficiales sobre términos y conceptos de Nanotecnología. Y observó que los profesores tuvieron dificultades para producir una comprensión más profunda sobre esos conceptos.

Antti Laherto destaca que es importante que los contenidos incorporen asuntos relacionados con Nanociencia y Nanotecnología, y que la mayor importancia educacional está en promover una alfabetización científica y tecnológica que lleve en cuenta aspectos sociales. Además, la idea básica del modelo es que la estructura del contenido científico sea construida prestando mucha atención a los objetivos educacionales. Debe lograrse que el alumno pueda acompañar el debate con los medios de difusión masiva, discutir asuntos y artefactos científicos y tecnológicos y formarse opiniones sobre las cuestiones sociales y éticas relacionadas a este campo de estudio. [2]

Nuestra percepción visual es limitada en una escala natural, y cuando los objetos huyen de nuestra observación, pasamos a un terreno de hipótesis y suposiciones. Una tela de araña, por ejemplo, puede ser observada por medio de la reflexión de la luz solar que incide sobre ella o percibida por el tacto, gracias a su resistencia mecánica. El macro y el micro solamente pueden ser percibidos de forma indirecta por medio de instrumentos ópticos como el telescopio y el microscópico, respectivamente. [4]

Nuevas teorías y nuevas tecnologías han posibilitado la miniaturización de relojes y componentes electrónicos. El propio principio de funcionamiento se altera, lo que nos permite decir, por ejemplo, en el caso del cuarzo, que los relojes se hacen más precisos, livianos y baratos. Y aunque la microelectrónica permita la producción de “chips” minúsculos, el artefacto tecnológico producido no puede ser reducido más allá del límite de escala del usuario. [5]

La Nanociencia y la Nanotecnología, como los nombres sugieren, forman un campo de investigación que trabaja en la escala nanométrica (1nm=10⁻⁹m). En 1960, el científico Richard Feynman anunció en su “célebre” frase “*hay bastante espacio allí abajo*”, que sería posible almacenar mucha información en nano-componentes. Además, sabemos que en esos casos la

velocidad de procesamiento aumenta considerablemente. [5] Y por otra parte, una cosa curiosa, es que cuando el "pedacito se hace demasiado pequeño", nuevas propiedades surgen, en vez de desaparecer. [5]

Para esto, la técnica tradicional de "esculpir" circuitos cada vez menores, inclusive usando haces guiados con alta precisión, ya se hizo obsoleta. Una nueva tecnología denominada "microscopia de barrido" permite ir de abajo para arriba (*bottom-up*), utilizando microscopios de tunelaje y de fuerza atómica. Esa es una de las maneras de "ver" los átomos individualmente, y también es una herramienta que permite manipular átomo a átomo, como un albañil hace con ladrillos. El término "ver" aparece entre comillas, pues se trata de un proceso complejo e indirecto. Sin embargo, construir un objeto complejo, moviendo pieza por pieza, se convierte en un proceso extremadamente lento y una nueva técnica se hace necesaria. [4] Una apuesta fascinante en N&N consiste en la auto-organización. Un concepto en el cual los propios "nano-objetos" se organizan en secuencias específicas para formar arreglos previamente proyectados. [5]

Las aplicaciones de N&N se hacen presentes en las más diversas áreas, como electrónica, medicina, aeronáutica, cosméticos, entre otras. Solamente para contextualizar, en el campo electrónico son creados dispositivos menores y más potentes: nano-partículas contenidas en películas finas que recubren las lentes de los espejuelos las protegen de arañazos (además de disminuir la reflexión de la luz) [6]; en el tratamiento del cáncer algunos nano-cristales son luminiscentes y posibilitan la localización y la delimitación precisa de un tumor; en el sector automovilístico y aeronáutico, nano-compósitos pueden permitir la obtención de materiales más leves, moldeables y resistentes; nano-partículas magnéticas pueden minimizar los daños durante los derramamientos de petróleo en el mar; nano-partículas de dióxido de titanio, por su poder de absorción de radiación ultravioleta, son empleadas en la producción de protectores solares; hay nano-partículas que aumentan la capacidad de absorción de la piel y son empleadas por las industrias de cosméticos y en el tratamiento anti-envejecimiento, [7] entre otras aplicaciones.

Fabio Pereira, en una investigación bibliográfica sobre el tema N&N, verificaron que gran parte de la comunidad científica utiliza terminologías que son extremadamente específicas y densas y, generalmente, están disponibles en otro idioma. Sin embargo, él destaca algunos programas de nano-educación que han sido implementados en Brasil de forma lúdica y relevante, como el proyecto *Nanociencia*, que consiste en una exposición interactiva sobre N&N y que coloca a disposición juegos virtuales educativos. Otra experiencia similar es desarrollada en la Escuela de Artes de la Universidad de São Paulo, e incluye actividades con letras de canciones, rompecabezas y la construcción de nano-materiales mediante arte en papel (*origami*), para que el alumno pueda adquirir una comprensión inicial de la Nanotecnología. [7] Esos proyectos tienen una base teórica firme, pero Laherto [2] alerta sobre el riesgo de deformar el contenido utilizando imágenes simplificadas y modelos visuales que pueden engañar, formando en los alumnos falsos modelos de percepciones y equivocaciones epistemológicas.

Silva [6], destaca que el campo de la Nanotecnología no es novedad para el alumno, pues incluyen conceptos de “átomos” y “moléculas” ya dominados por ellos. La novedad consiste en cómo esos “objetos” pueden ser manipulados para crear nuevas tecnologías.

En el trabajo desarrollado por Silva, se menciona que aunque el contenido de los medios de comunicación esté colmado del término “nano”, casi nada se dice sobre este asunto en la escuela. Y presenta un diálogo entre una alumna y su profesora sobre el tema. En la conversación, además de la definición y de las aplicaciones sobre N&N, son discutidos los cuidados en la manipulación y los impactos de los nano-materiales en el medio ambiente. Según la autora, la ética y la seguridad deben ser tomadas en cuenta y sobreponerse a los lucros. En este sentido, los profesores deben estar preparados para responder las preguntas de los alumnos y los alumnos deben de profundizar en la información para llegar a posiciones claras ante las cuestiones que son presentadas en los medios de comunicación. [6]

Por otra parte, el abordaje relacionado con *Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente* (CTSA), es para Rebello [8] el punto central en el proceso educativo, pues hace que el alumno sea crítico sobre los beneficios y prejuicios que una nueva tecnología puede traer. En este sentido, el trabajo del autor utiliza investigaciones individuales, textos y figuras presentadas en la forma de *slides*, vídeos didácticos, simulaciones y la preparación de nano-partículas de magnetita por los alumnos, mediante un procedimiento previamente elaborado. Para concluir el trabajo, se realizó un debate entre los alumnos sobre los beneficios de la Nanotecnología y los problemas de orden ambiental de la nano-polución. [8] Para aproximar al alumno de nivel medio a la Nanociencia y hacerlo consciente y crítico de la dimensión social impuesta por las nuevas tecnologías que orientan ese trabajo.

El presente artículo aborda una inserción de los asuntos de N&N en una escuela de nivel medio en Brasil. Hacemos algunas reflexiones sobre las concepciones de los estudiantes en relación con ese asunto y sugerimos maneras efectivas de introducirlo a ese tipo de escuelas.

Metodología

Este trabajo fue desarrollado en una escuela brasileña del estado de São Paulo. Se trata de una escuela particular, con una estructura diferente de la encontrada en las escuelas públicas, pues los estudiantes, además de cursar la Enseñanza Media, reciben una Educación Profesional Técnica que les permite prepararse para el mercado de trabajo. Esos alumnos son estimulados por los profesores a participar en actividades científicas como las olimpiadas de Física y Astronomía.

La muestra de nuestra investigación contó con un total de ochenta alumnos adolescentes, con edades entre 14 y 17 años, distribuidos de la siguiente forma: 29 alumnos del 1er año, 24 alumnos del 2do y 27 del 3er año.

El instrumento utilizado para la obtención de los datos consistió en un cuestionario, utilizando algunas preguntas abiertas y otras cerradas. Según Tozoni-Reis [9], el cuestionario es un instrumento altamente estructurado que contiene un conjunto de preguntas predefinidas, las cuales son presentadas al entrevistado. Estas preguntas deben ser elaboradas por el investigador, de forma clara y precisa, con el objetivo de que las respuestas obtenidas sean cortas y objetivas. Las respuestas de los estudiantes fueron encuadradas dentro de algunas categorías de análisis previamente elaboradas, con el objetivo de que pudiéramos, por medio de gráficos, interpretar y analizar los resultados.

El método utilizado consistió en el análisis de dos cuestionarios. En un primer momento fue aplicado un cuestionario para determinar las concepciones generales de los estudiantes en relación a asuntos de Nanociencia y Nanotecnología; en un segundo momento, el trabajo buscó, por medio del segundo cuestionario, verificar cómo esos temas son abordados en las actividades previstas en los planes de estudios, cómo estos contenidos están presentes en lo cotidiano de los alumnos y, finalmente, cuáles son los intereses de esos estudiantes en profundizar sus conocimientos sobre el tema.

En ese segundo momento, el investigador, que es responsable por las asignaturas de Física y Química, presentó una charla sobre el tema que duró aproximadamente una hora. En esa presentación, además de conceptos específicos sobre N&N y sobre el orden de magnitud de la escala nanométrica, fueron destacadas informaciones sobre la producción científica en Brasil; al respecto de los cursos específicos existentes en esa área; sobre las posibles colaboraciones entre investigadores y estudiantes pre universitarios, y sobre la posibilidad de que participen activamente en la divulgación y en el desarrollo de la Nanotecnología.

Después de la presentación, los alumnos fueron estimulados a través de preguntas que los desafiaron a discutir y a asumir posiciones críticas sobre aspectos e implicaciones que la N&N ejercen sobre la sociedad. En seguida, los estudiantes respondieron al segundo cuestionario compuesto de seis preguntas, de las cuales tres eran abiertas.

Análisis de los datos

Dentro de las concepciones generales abordadas en el primer momento de nuestra investigación, cuestionamos a los estudiantes, buscando detectar si ellos tenían alguna familiaridad con los términos Nanociencia y Nanotecnología, desde el punto de vista conceptual, y si ellos conseguían relacionarlos con aplicaciones cotidianas.

Verificamos, como muestran la Tabla 1 y el Gráfico 1, que los conocimientos generales de los alumnos aumentan con el progreso escolar. Ese aumento es aproximadamente lineal en varios casos. De acuerdo con los resultados para los dos primeros años de la Enseñanza Media, da la

impresión de que muchos estudiantes de nivel secundario y de nivel medio carecen de nociones mínimas sobre Nanotecnología.

Preguntas	1 ^{er} año	2 ^{do} año	3 ^{er} año
(PM) Você já ouviu falar em nanociência e nanotecnologia?	46,4%	70,9%	92,4%
(PM) Você gostaria de saber mais sobre Nanotecnologia?	96,6%	91,7%	100,0%
(SM) Você participaria de algum Projeto de Divulgação ou Pesquisa em N&N?	68,9%	70,8%	59,3%
(SM) Gostaria de ingressar na Faculdade para estudar sobre N&N?	27,3%	48,5%	37,0%
(SM) Você participaria de Projetos de Iniciação Científica Jr.?	20,7%	26,7%	18,5%

Tabla 1 – Porcentaje de alumnos que respondieron positivamente a cada pregunta. PM y SM representan Primer Momento y Segundo Momento, respectivamente.

La encuesta aplicada es bastante superficial, no preguntamos sobre conceptos, objetos e instrumentos específicos del área, para evitar posibles frustraciones. Al ser estimulados para citar relaciones entre N&N y lo cotidiano percibimos que más del 75% de los estudiantes del primer año, y más del 50% de los del segundo, no consiguieron establecer ninguna relación entre el desarrollo de N&N y los avances tecnológicos asociados a estas áreas. En este sentido percibimos que hay una carencia de fuentes y materiales didácticos que expongan temas de N&N con un lenguaje crítico, reflexivo y accesible a los estudiantes de la enseñanza fundamental y media.

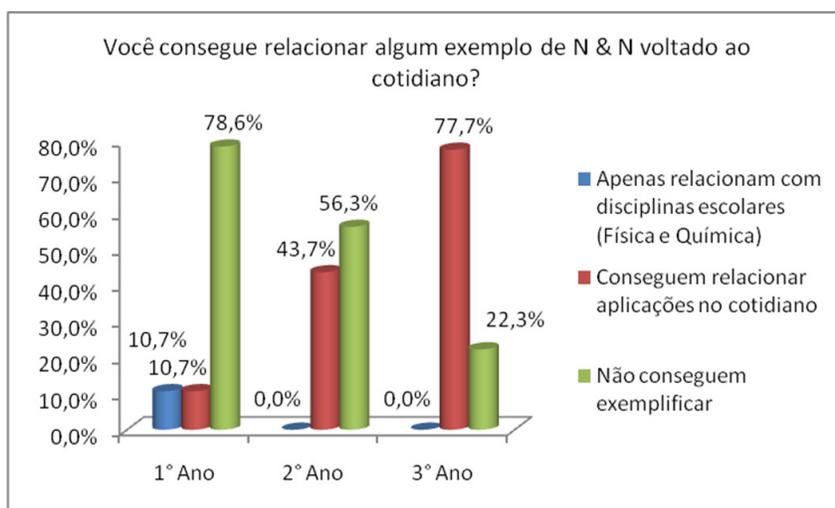


Gráfico 1: Percepción de los estudiantes acerca de la relación entre N&N y lo cotidiano.

Buscando una percepción más nítida sobre lo que los alumnos entienden por N&N en los diferentes momentos de la Enseñanza Media, verificamos que un gran porcentaje de los estudiantes de 1er y 2do años, no tenía conocimientos significativos sobre el asunto o relacionaban esos asuntos a una visión generalizada sobre ciencia, tecnología y sociedad (CTS). Y comparando con los datos presentados en el Gráfico 2, verificamos el creciente entendimiento conceptual de la relación entre N&N y la estructura y manipulación de la materia en escala nanométrica.

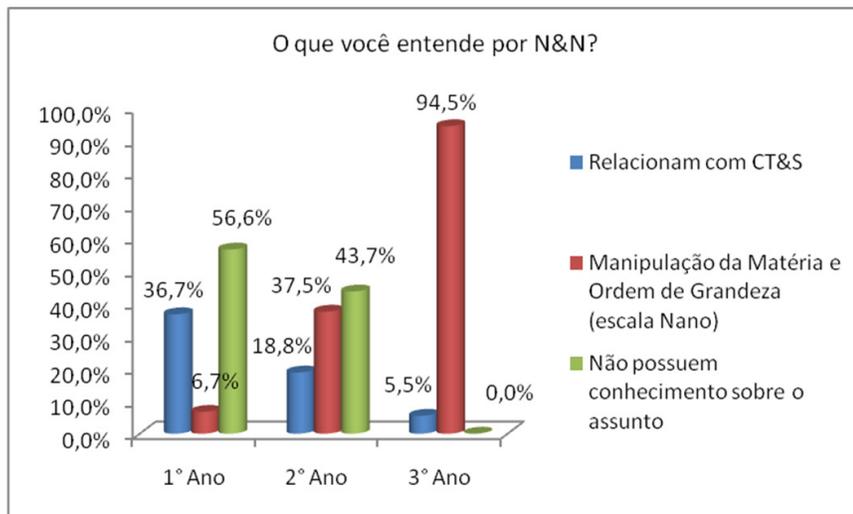


Gráfico 2: Percepción conceptual de los estudiantes acerca de la relación entre N&N y el mundo nanométrico.

Abajo destacamos algunas frases de los estudiantes en relación al primer momento de nuestra investigación.

Pregunta: ¿Qué entiende usted por Nanociencia y Nanotecnología?

Alumno 1 (3er año): "Entiendo la Nanociencia como el estudio de cosas muy pequeñas, y Nanotecnología, son aparatos con que se estudia esa ciencia."

Alumno 2 (2do año): "Nanociencia es el estudio de principios fundamentales de moléculas y estructuras de dimensión muy pequeña, y la Nanotecnología es la aplicación de esas estructuras."

Alumno 3 (2do año): "Ya oí hablar sobre ella, pero no conozco sus significados exactos, creo que ambos están relacionados con niveles subatómicos, sin embargo la Nanotecnología usa esos niveles a favor de la tecnología."

Alumno 4 (1er año): "Creo que es algo más profundo sobre la ciencia y la tecnología... no entiendo sobre el asunto, mas tengo curiosidad de saber."

El segundo momento del trabajo ocurrió con la presentación realizada por el profesor responsable de las asignaturas de Física y Química. Después del debate, estimulado mediante preguntas desafiantes que contemplaban, de forma crítica y reflexiva aspectos e implicaciones de N&N en la sociedad, los alumnos respondieron el segundo cuestionario, que constaba de tres preguntas cerradas, las cuales son presentadas en la Tabla 1 (SM) y en los Gráficos 3, 4 y 5.

Al preguntarles si les gustaría saber más sobre N&N, verificamos que de los tres años de la Enseñanza Media (EM), más del 90% de los estudiantes se mostraron interesados en aprender

más sobre el asunto. Esto nos revela que la actividad tuvo un carácter motivador, haciendo evidente la buena recepción de los estudiantes hacia el planeamiento y desarrollo de futuras propuestas relacionadas con N&N.

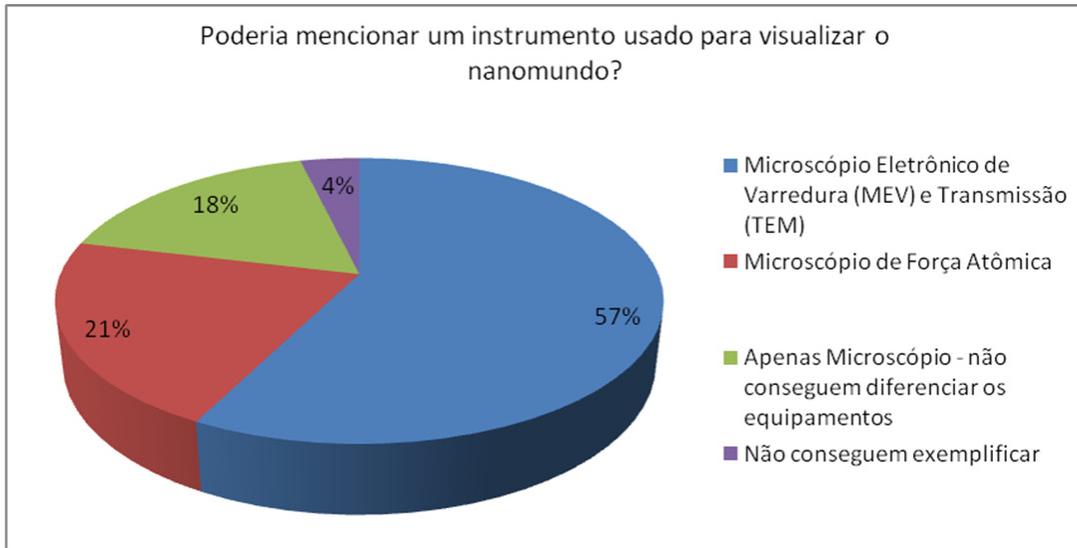


Gráfico 3: Percepción de los estudiantes acerca de las formas de visualizar e investigar el nanomundo.

El análisis de los gráficos presentados revela que hubo un aprendizaje significativo de los estudiantes acerca de los conceptos y aplicaciones abordadas. El Gráfico 3 presenta los resultados sobre formas e instrumentos utilizados para visualizar e investigar el nanomundo (tema expuesto con gran énfasis en la presentación) en la visión de los estudiantes. El gráfico revela que un 78% de los estudiantes presentan ejemplos específicos de microscopía, 18% no logran distinguir el tipo de microscopía y apenas 4% no consiguieron ejemplificar maneras de investigar el nanomundo.

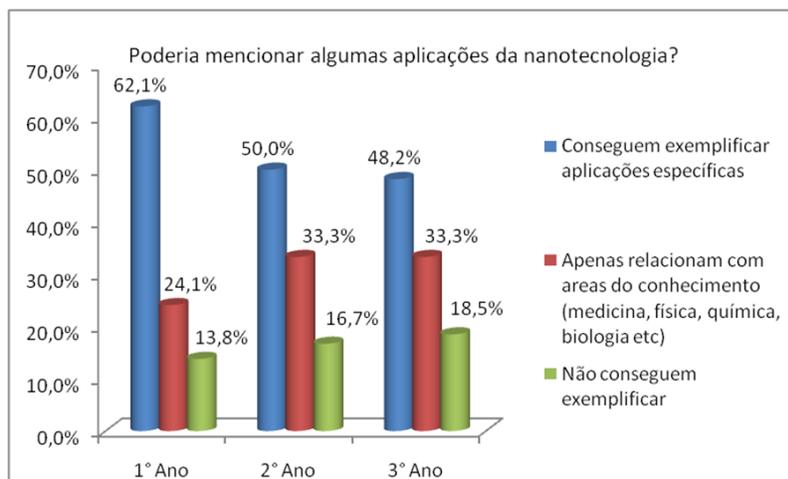


Gráfico 4: Percepción de los estudiantes acerca de las aplicaciones de la Nanotecnología.

Al ser cuestionados sobre las aplicaciones de N&N no verificamos un cambio característico dentro de las categorías establecidas entre los años de la EM. Sin embargo, debemos resaltar que

los alumnos del primer año presentaron un alto índice de respuestas correctas, mayor al 60%, como muestra el Gráfico 4. Sorprendentemente, los estudiantes del primer año que inicialmente tenían conocimientos muy incipientes sobre el tema lograron, a partir de lecturas extra-clase y de la charla presentada, citar ejemplos de aplicaciones relacionadas con lo cotidiano.

En lo que se refiere a la comparación entre el nanómetro y el centímetro, los estudiantes del 1er y 3er años demostraron buen conocimiento específico de las conversiones de unidades, y eso no ocurrió con los alumnos del segundo año de la EM.

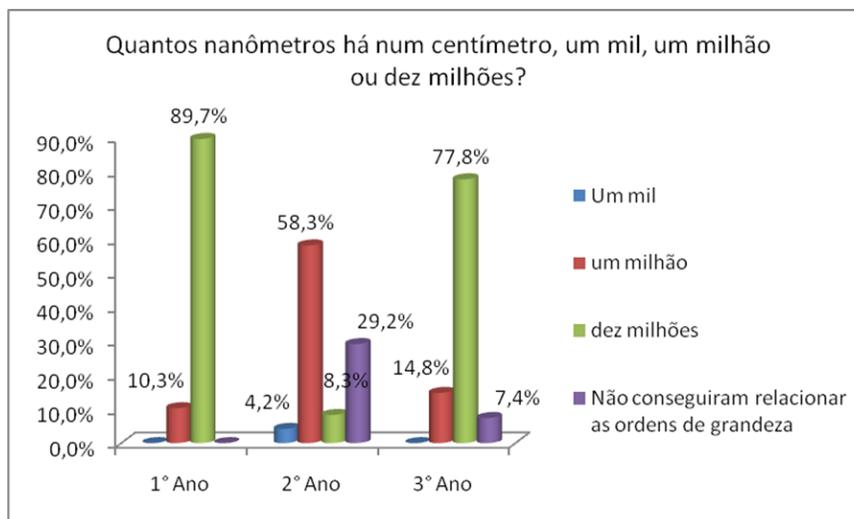


Gráfico 5: Percepción de los estudiantes acerca del orden de magnitud del nanómetro.

En el análisis de los cuestionarios verificamos un interés manifiesto de los estudiantes por participar en proyectos de Iniciación Científica sobre temas de N&N. Del total de estudiantes de la EM: 20,7% del 1er año; 16,7% del 2do y 18,5% del 3er año manifestaron ese interés. En general, los estudiantes mostraron interés por la presentación sobre Nanotecnología y lograron responder razonablemente a las preguntas específicas. Es curioso notar que hay casos en que las respuestas del primer año superaron a las del segundo. Además, la parte de los estudiantes que dijo que participaría en proyectos de Nanotecnología o la estudiaría en la Facultad no es la mayoría, pero puede ser suficiente. Esto permite planear e iniciar nuevas acciones para la divulgación de la Nanotecnología de forma más detallada y a mayor escala. Por lo tanto, en la siguiente sección, destacamos algunos puntos que consideramos importantes.

Propuestas para la divulgación de la Nanotecnología

El estudio realizado nos permitió establecer un diagnóstico de la percepción de los estudiantes en dos momentos distintos. La relación entre esos elementos deja ver una evolución de la comprensión de los estudiantes acerca del tema propuesto. Eso dio lugar a una reflexión y a las siguientes propuestas:

1. Tomando en cuenta la interdisciplinariedad, organizar acciones simultáneas de los profesores de un grupo de asignaturas con el foco en la Nanotecnología. Aunque Física, Química, Biología y Matemática son importantes, asignaturas como Geografía, Artes, Portugués e Inglés también pueden jugar un buen papel. Los profesores participantes del proyecto necesitarán esforzarse para aprender y profundizar sobre Nanotecnología. Así podrían ejemplificar muchos de los conceptos, fenómenos y procesos básicos en los marcos de la Nanotecnología. Podrían realizarse dos semanas de Nanotecnología: una en que profesores, especialistas y empresarios informen, expliquen y motiven, y otra en que los estudiantes expongan sobre su aprendizaje y sus posibles contribuciones.

2. Sugerir y orientar la compra de libros sobre Nanotecnología para el acervo de la biblioteca escolar y estimular la lectura de los mismos. Deben ser incluidos libros internacionales, regionales y nacionales. Los libros pueden ser presentados a los alumnos durante una actividad de divulgación sobre Nanotecnología. Se podría sugerir y facilitar que los comentarios de los alumnos sobre los libros leídos sean publicados en Internet.

3. Formar y orientar un grupo de estudiantes universitarios y pre universitarios, con posible apoyo financiero en forma de becas de iniciación científica o extensión universitaria, que trabajarían en la divulgación de la Nanotecnología, en visitas a alumnos más jóvenes o de otras escuelas y en el mantenimiento de un mecanismo de alertas sobre noticias de Nanotecnología. Las noticias deben tratar sobre trabajos internacionales, regionales y nacionales. Ellos también podrían ayudar a proponer juegos virtuales, juguetes y figuras para colorear o dibujar con el tema de la Nanotecnología.

4. Ayudar a los alumnos a encontrar caminos hacia las carreras académicas y profesionales en Nanotecnología, destacando los logros nacionales y regionales de manera que les quede claro que... ¡sí se puede!

Conclusiones

Muchas aplicaciones sobre N&N están presentes en lo cotidiano de los alumnos. La literatura indica que hay necesidad de una alfabetización científica. Siendo imprescindible la inclusión de esos conceptos desde la educación básica, para que el estudiante tenga, no apenas conocimientos específicos, sino, más bien, una visión general que le permita establecer una relación crítica y reflexiva sobre el impacto de esas tecnologías en la sociedad.

Los resultados de la investigación sugieren una evolución de los estudiantes acerca de los temas relacionados a Nanociencia y Nanotecnología. Es evidente que el conocimiento de los alumnos sobre esos temas aumenta con su progresión en la escuela, pero debería ser mayor desde el primer año. Los estudiantes que participaron en las actividades mostraron falta de conocimientos básicos y, al mismo tiempo, bastante interés en saber más.

La interdisciplinaridad de la Nanotecnología debería ser usada como motivación para el trabajo conjunto de profesores de la Enseñanza Media, enfatizando la unidad de los conocimientos científicos. Una divulgación de la Nanotecnología, en la que los estudiantes sean protagonistas, parece ser la forma más efectiva. Finalmente, creemos que es importante destacar constantemente las contribuciones, las personalidades y las instituciones regionales y nacionales, para que los alumnos vislumbren buenas posibilidades de ser parte de la comunidad nano.

Agradecimientos. A la Unesp, al SESI/SP y la Red NanoDyF, por apoyar nuestro trabajo y participación en el 1er Simposio de la Red.

Bibliografía

- [1] BRUNO-Alfonso, A. Situação atual da divulgação e do treinamento em nanociência e nanotecnologia no Brasil. *Mundo Nano*. 2011. V. 4, n. 2.
- [2] LAHERTO, A. An analysis of the educational significance of nanoscience and nanotechnology in scientific and technological literacy. *Science Education International*. V. 21, n. 3, p. 160-175.
- [3] GREENBERG, A. Integrating Nanoscience into the Classroom. *ACSNANO*. 2009. V. 3, n. 4.
- [4] SCHULZ, P. A. B. Nanociência de baixo custo em casa e na escola. *Física na Escola*. 2007. V. 8, n. 1.
- [5] _____. O que é a nanociência e para que serve a nanotecnologia? *Física na Escola*. 2005. V. 6, n. 1.
- [6] SILVA, S. L. A. *et. al.* Afinal o que a nanociência e nanotecnologia: uma abordagem para o ensino médio. *Química Nova na Escola*. 2009. V. 31, n. 3. 2009.
- [7] PEREIRA, F. D. *et. al.* Nanotecnologia: Desenvolvimento de Materiais Didáticos para uma abordagem no Ensino Fundamental. *Química Nova na Escola*. 2010. V. 32, n. 2.

[8] Rebello, G. A. F. *et. al.* (2012). Nanotecnologia, um tema para o ensino médio: Utilizando a abordagem CTSA. *Química Nova na Escola*. V. 34, n. 1.

[9] Tozoni-Reis, M. F. C. *Metodologia da Pesquisa Científica*. Curitiba: IESDE Brasil, 2007.