

## **NANOBOX: UN MATERIAL EDUCATIVO EN NANOMATERIALES QUE PROMUEVE LA CREATIVIDAD CIENTÍFICA**

### **NANOBOX: AN EDUCATIONAL RESOURCE THAT PROMOTES SCIENTIFIC CREATIVITY**

**Catalina Ruano y Yenny Hernández**

Laboratorio de nanomateriales, Departamento de física, Universidad de los Andes, Colombia

(Recibido: Octubre/2015. Aceptado: Enero/2016)

#### **Resumen**

Actualmente en Colombia, la educación en el nivel de media secundaria presenta falencias en el desarrollo del pensamiento científico de los estudiantes. De manera particular, se han detectado algunos problemas en la enseñanza de la física, que son tratados en el presente trabajo con el fin de proponer un método alternativo de enseñanza fundamentado en la indagación. Este método fue aplicado en una clase de física en la que se enseñaron algunas características relevantes de los nanomateriales. Se expone el diseño, elaboración e implementación de un material educativo para la enseñanza de los nanomateriales llamado NanoBox, el cual fue probado en estudiantes de último grado de secundaria. Con respecto a una clase tradicional, la utilización de NanoBox muestra mejoras significativas en diferentes aspectos como la percepción de la física por parte de los estudiantes, promoviendo la curiosidad y el interés por el conocimiento científico; además de revelar la importancia del estudio de la física y de los nanomateriales en la sociedad actual.

**Palabras Clave:** Nanomateriales, educación basada en indagación

#### **Abstract**

Currently in Colombia, education at high school level has shortcomings in the development of scientific thinking of students. Specifically, problems were detected in physics teaching which are discussed in the present document in order to propose an alternative

method of inquiry based learning. This method was applied in a physics class where some important characteristics of nanomaterials were taught. This work presents the design, development and implementation of an educational material for the teaching of nanomaterials called Nanobox, which was tested with school seniors. Regarding traditional teaching, the use of Nanobox shows significant improvements in different aspects of learning such as the perception of physics by students and the increase of curiosity and interest in scientific knowledge.

**Keywords:** Nanomaterials, inquiry based learning.

## **Introducción**

La educación científica a nivel de educación media en Colombia, muestra a través de resultados en pruebas nacionales e internacionales, la necesidad de realizar mayores esfuerzos en la enseñanza de las ciencias naturales identificando ciertos problemas en áreas como son: la enseñanza didáctica, la profundización de los procesos cognitivos, la formación científica, las concepciones de la ciencia, el lenguaje científico y su mediación pedagógica [1]. Específicamente en la enseñanza de la física se ha detectado que los estudiantes presentan falencias ya que es vista por ellos como un estudio sin sentido, fuera de su alcance y que no representa algún aporte significativo a su desarrollo [2].

Este es un problema de gran importancia para la comunidad científica, ya que a pesar de los buenos resultados numéricos los futuros profesionales colombianos no están desarrollando competencias y habilidades científicas desde su educación escolar lo cual es preocupante debido a que no se incentiva la creatividad, la curiosidad, la investigación en los jóvenes teniendo consecuencias en los estudios superiores. Muchos estudiantes no proponen ideas propias o no se atreven a salir de la teoría de los libros porque no se les ha guiado a pensar más allá de las ecuaciones o no se ha dado espacio apropiado para el desarrollo de la creatividad científica, la cual es vital en la aparición de nuevos conocimientos en física. Actualmente existen programas enfocados a desarrollar habilidades de pensamiento científico en la población infantil y juvenil colombiana, como el programa Ondas de Colciencias, el cual tiene como uno de sus objetivos “desarrollar el espíritu científico en los niños(as) y jóvenes a través de la investigación como estrategia pedagógica [3].

En este documento se presenta un proyecto educativo que busca enseñar algunas características de los nanomateriales, el cual está enfocado en el

último escalón de la taxonomía de Bloom: la creatividad (Esta clasificación puede entenderse como niveles que deberían escalar los estudiantes en su proceso de aprendizaje [5]). Actualmente se puede decir que en general la educación científica a nivel de media secundaria se enfoca en el primer y segundo escalón (Recordación y comprensión), en donde se tiene presente el conocimiento adquirido a través de la memoria a largo plazo y se pueden entender los conceptos construyendo significados de forma oral, gráfica o escrita, a través de ejemplos, clasificaciones y resúmenes, infiriendo, comparando y explicando [5]. Sin embargo resta bastante para llegar al último escalón si se sigue con el modelo de educación tradicional en la enseñanza de la física. Es por esto que el aprendizaje basado en indagación resulta muy útil en ciencias puesto que a través de éste se logra desarrollar un amplio rango de habilidades en los estudiantes como lo son la creatividad, el trabajo en equipo, la resolución de problemas y el manejo de proyectos. Adicionalmente permite un acercamiento más profundo al conocimiento por parte del estudiante, ya que permite que él sea quien realice las conexiones entre las ideas que está aprendiendo, desarrollando también capacidades de investigación [6].

Con respecto a la influencia de la educación en la sociedad, se ha encontrado que en los desarrollos tecnológicos y científicos, es justamente la educación científica la que se presenta como uno de los principales agentes reguladores entre los avances tecnológicos y la percepción que los ciudadanos tienen hacia ellos [7]. Los nanomateriales y la nanotecnología son presentados comúnmente como parte de una revolución científica de alta importancia para la industria. Es por esto, que Estados Unidos y Europa, se ha estudiado la importancia de implementar la educación en nanociencia en todos los niveles escolares [7, 8]. Los nanomateriales, tales como películas delgadas, nanotubos, nanocables entre otros, presentan propiedades excepcionales en comparación con los materiales macroscópicos. Gracias a estas características particulares, estos materiales son de gran interés en la actualidad [9].

## **Metodología**

Se seleccionó un grupo de estudio de un colegio privado, calendario A de la ciudad de Bogotá, de alumnos de grado once. Se escogió este grado por su disponibilidad pero consideramos que el material puede ser usado desde el grado noveno. Se trabajó con dos cursos (1101 y 1102) con el fin de enseñar en ambos las mismas temáticas referentes a los nanomateriales pero empleando métodos de enseñanza distintos. En el primer salón (1101) se dictó una clase tradicional mientras que en el segundo (1102) se utilizó el material educativo desarrollado. Esto con el propósito de tener un grupo control y uno experimental permitiendo comparar el impacto del material al

finalizar las sesiones de clase de física de grado once. Para el desarrollo de este proyecto, se plantearon cinco etapas las cuales se mencionan a continuación.

*A. Etapa 1: Investigación:* En esta etapa se buscaba reconocer la situación inicial del grupo de estudio a través de encuestas dirigidas a los estudiantes, entrevistas a los profesores y encuestas a los padres de familia que permitieran dar a conocer cuál es la concepción de las ciencias, de su enseñanza y de su importancia en la sociedad por parte de los principales actores del proceso de aprendizaje.

*B. Etapa 2: Desarrollo del material:* Teniendo en cuenta los resultados de las encuestas se diseñó y se fabricó el material educativo llamado NanoBox, el cual se describirá con mayor detalle en la siguiente sección.

*C. Etapa 3: Probar el material:* NanoBox fue implementado en la clase de física del curso 1102. Simultáneamente en el curso 1101 se enseñaron las mismas temáticas de manera tradicional.

*D. Etapa 4: Corrección del material:* Luego de analizar la implementación se realizaron algunas mejoras al material

*E. Etapa 5: Análisis de resultados:* Se realizó un estudio comparativo de los resultados de la enseñanza de los nanomateriales a los dos cursos realizando una encuesta final.

## **Resultados y discusión**

### *a) Investigación: Encuestas y entrevistas*

Se elaboró un cuestionario que buscaba conocer las ideas previas de los estudiantes como se mencionó en la sección anterior. Dicho cuestionario consta de dos partes, la primera contiene diez preguntas referentes a las concepciones de la ciencia, la percepción de las clases de física por parte de los estudiantes y su interés por carreras científicas. La segunda parte contempla preguntas abiertas sobre el uso de la nanotecnología en la sociedad (para ver el cuestionario completo y sus resultados revisar [10])

Algunos resultados relevantes de las encuestas a los estudiantes se muestran en la Tabla 1.

Pregunta	Totalmente en desacuerdo	Desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Las clases de física me generan motivación por el conocimiento científico	14%	16%	33%	28%	9%
Las clases de física que recibo en el colegio aumentan mi curiosidad por conocer y entender cómo funcionan las cosas	12%	8%	39%	31%	10%
Considero que la formación en física que recibo en el colegio es útil para la vida	5%	13%	41%	34%	7%
La física es difícil	5%	12%	5%	24%	54%

TABLA 1. Distribución porcentual de las respuestas de los estudiantes

Se encuestaron un total de 59 estudiantes.

A continuación se muestra la frecuencia experimental en la clase de física reportada por los alumnos en la clase de física para el año anterior.

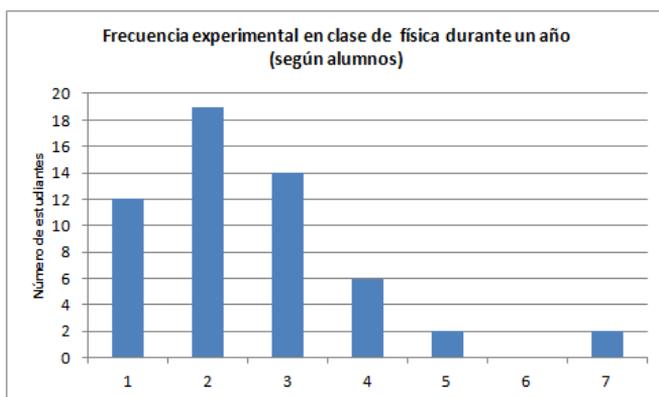


FIGURA 1. Frecuencia experimental en clase de física durante un año reportada por el grupo de estudio.

Teniendo en cuenta los resultados de estas encuestas, se evidencian claros problemas en la enseñanza práctica y experimental de la física en la población de estudio, ya que la frecuencia experimental es muy baja (los datos obtenidos revelan una moda de 2 experimentos por año y un promedio de aproximadamente 3 experimentos por año como se observa en la Figura. 1). Esto lleva a que los estudiantes perciban la física como un estudio alejado de su realidad, generando poco interés por el conocimiento científico además de restringir su curiosidad por conocer el mundo a través de las explicaciones físicas. Esto se evidencia en que solo el 37% de los estudiantes encuestados están de acuerdo con que las clases de física generan motivación por el conocimiento científico. Adicionalmente las clases de física no incentivan la curiosidad por conocer cómo funcionan las cosas al 49% de los alumnos, llevando a la impresionante cifra del 78% de estudiantes que consideran que la física es difícil. Por otro lado, la entrevista con el profesor de física muestra que la creatividad científica no es desarrollada en los estudiantes con la metodología empleada por el profesor, ya que es más difícil desarrollar aprendizaje significativo en los alumnos cuando ellos se encuentran la mayor parte del tiempo escuchando y no aplicando conocimientos (ver [10]).

Con base en estas conclusiones, lo que se desea lograr con el material educativo es generar en los estudiantes mayor motivación por el conocimiento científico a través del aprendizaje generado por su propia experiencia sobre un tema de actualidad y relevancia científica. Llevando a que ellos perciban el estudio de la física útil, interesante y fácil de aprender.

#### *b) Desarrollo y prueba de NanoBox*

Las consecuencias de la escala nanométrica pueden ser evidenciadas con un sinnúmero de experimentos, sin embargo, ya que Nanobox está diseñando para que los estudiantes desarrollen por sí mismos cada uno de los módulos escogimos tres temas referentes a los nanomateriales los cuales son: consecuencias de la escala nanométrica, propiedades eléctricas de los nanomateriales y propiedades físicas de los nanomateriales. Cada uno de estos temas constituye un módulo de NanoBox el cual se trabaja en una sesión de clase. Como se busca que este material educativo desarrolle la creatividad científica de los estudiantes, cada módulo contiene una guía de indagación científica la cual contiene actividades prácticas permitiéndole al estudiante ser quien dirija su proceso de aprendizaje, además de diversos materiales con los cuales el estudiante puede interactuar llevándolo a aprender mientras trabaja.

De esta manera se diseñó NanoBox, una caja de tres niveles como se muestra en la Figura. 2. Cada nivel corresponde a uno de los módulos, donde se encuentra la guía de indagación correspondiente, hojas de respuestas, donde los alumnos registran su aprendizaje, y los elementos necesarios para desarrollar los experimentos propuestos.



FIGURA 2. *NanoBox*

A continuación se expondrá brevemente el contenido de cada módulo de NanoBox, presentando la justificación conceptual de cada actividad, además de mostrar imágenes de los materiales utilizados por los estudiantes en cada una de ellas.

1) *Primer módulo: Consecuencias de la escala nano*

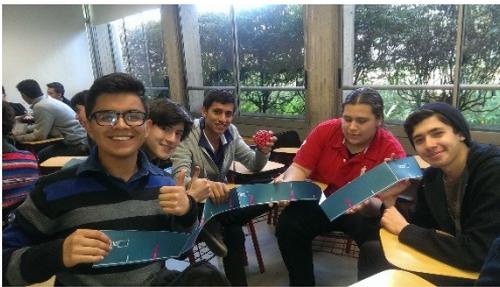


FIGURA 3. *NanoRegla*



FIGURA 4. *NanoMatrioska*

La guía de trabajo de este módulo contiene dos actividades:

a) *Actividad 1: ¿Qué tan pequeño es un nanómetro?*

Esta actividad pretende llevar a los estudiantes a sorprenderse con el tamaño de un nanómetro. Con este fin se diseñó la NanoRegla, la cual mide 2 metros y equivale a 1 milímetro. A los estudiantes se les pide que partiendo de 1mm

lleguen a 1 nm dividiendo la NanoRegla siguiendo las indicaciones especificadas en la guía de indagación.

*b) Actividad 2: ¿Por qué trabajar en la escala nano?*

El área superficial colectiva y la relación entre el área superficial y el volumen, son propiedades fuertemente proporcionales al tamaño de la partícula. La relación área superficial-volumen (AS/V) se define como la razón entre el área superficial en metros cuadrados y el volumen de la misma partícula en metros cúbicos. Esta relación es relevante para partículas individuales, describiendo la interacción que ésta tiene con el medio que la rodea. Con respecto al sentido colectivo, si se piensa en un material macro dividido en múltiples clusters, el área superficial incrementa geométricamente ya que se va creando nueva superficie, en cuanto el volumen disminuye. En la escala nano, esta relación tiene consecuencias importantes debido a los altos valores que se obtienen de esta razón [11]. En esta actividad se busca que los estudiantes calculen la relación AS/V para cubos de diferentes tamaños guiándolos a concluir cómo es esta relación para cubos en la escala nano y qué implicaciones tecnológicas o qué aplicaciones podría tener esta propiedad.

*2) Módulo 2: Propiedades eléctricas de los nanomateriales*



FIGURA 5. Estudiante creando diferentes estructuras basadas en carbono con los modelos hexagonales en acetato

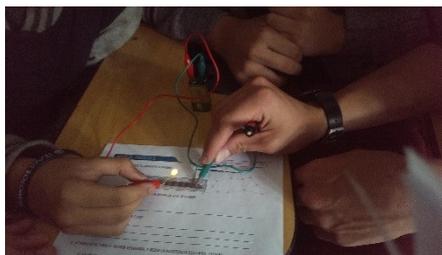


FIGURA 6. Estudiante creando circuitos de lápiz



FIGURA 7. Estudiantes midiendo la resistividad eléctrica en el modelo de una hoja de grafeno

La guía de trabajo de este módulo contiene tres actividades las cuales utilizan grafito como material de estudio:

a) *Actividad 3: Estructura del grafito*

Las propiedades de los materiales están ligadas a la estructura atómica que estos tengan, por lo cual es necesario hablar en primer lugar de como se ordenan los átomos en un material. Concretamente se presenta el grafito como material experimental, el cual posee una estructura de planos apilados, en la cual los átomos de carbono se organizan en hexágonos unidos por enlaces covalentes [11].

b) *Actividad 4: Nanoestructuras basadas en carbono*

En esta actividad se busca que los estudiantes, quienes ya tienen conocimiento de la estructura hexagonal planar del grafito, creen diferentes estructuras basadas en átomos de carbono como son los nanotubos de carbono y el fullereno. En la Fig. 5 se observa a un estudiante creando una estructura piramidal, la cual ha sido planteada en estudios de química computacional.

c) *Actividad 5: Circuito de lápiz*

Como se ha mencionado, las propiedades eléctricas de los materiales en escala nano se potencializan significativamente. En el caso del grafito perfectamente orientado, la conductividad eléctrica en el plano es muy alta mientras que la conducción interplanar es realmente baja [10]. En esta actividad se busca que los estudiantes creen un circuito utilizando trazos de grafito de un lápiz como si fuera un cable permitiéndoles encender un LED como se evidencia en la Figura. 6. Además con los modelos hexagonales se les pide medir la resistividad eléctrica entre planos y en el plano, permitiéndoles llegar a concluir lo que sucede en la escala nanométrica. También se permite relacionar lo que sucede en la nanoescala con aplicaciones tecnológicas en el área de la electrónica (Figura. 7).

*Módulo 3: Propiedades físicas de los nanomateriales*



FIGURA 8. Comportamiento hidrofóbico del grafito



FIGURA9. Estudiantes deformando un plástico que modela un polímero con nanopartículas.

Este módulo consta de dos actividades:

*a) Actividad 6: Agua que no moja*

La humectabilidad (wettability) de las superficies sólidas es una propiedad importante de los nanomateriales, la cual es controlada por la composición química y la geometría de la superficie. La rugosidad de la superficie juega un papel muy importante al determinar la humectabilidad de un material. Entre mayor sea la rugosidad mayor será la capacidad de repeler el agua o el aceite [12]. La hidrofobicidad de un material se mide en términos de los grados de contacto que tiene la gota con la superficie. Si el ángulo es mayor a  $90^\circ$  se tiene una superficie hidrofóbica, si es mayor a  $150^\circ$  la superficie es superhidrofóbica [11].

En el caso de revestimientos basados en grafeno, se ha encontrado que al depositar en sustrato capas individuales de grafeno éstas forman una película interconectada que incrementa la rugosidad de dicho sustrato en uno o dos órdenes de magnitud, lo cual altera la humectabilidad del sustrato considerablemente [12]. Como el grafito es un material hidrofóbico, se logra comparar por observación la forma que tiene una gota de agua sobre un trazo de lápiz con respecto a la forma que tiene la gota directamente sobre el papel como se presenta en la Fig. 8. A través de esta actividad se busca que el estudiante también relacione esta propiedad con posibles aplicaciones en la industria de los nanomateriales.

*b) Actividad 7: Mejoramiento de algunas propiedades mecánicas al añadir nanopartículas*

Gojny, Wichmann, Fiedler y Schulte reportan incrementos significativos en las propiedades mecánicas de resinas epóxicas al añadir nanotubos de carbono. Se reporta un aumento del 43% en la tenacidad a la fractura debida a la influencia de sus propiedades en la matriz epóxica [13]. También se ha trabajado con carbon black, las cuales son partículas de diámetro entre 1 y 100 nm que modifican las propiedades mecánicas y eléctricas de los polímeros. Con base en estas investigaciones, se diseñó esta última actividad en la que se involucran los conceptos de deformación y fuerza. La actividad consiste en que los estudiantes siguiendo los pasos de la guía miden la deformación de dos tipos de plásticos corrientes los cuales simulan un polímero con y sin nanopartículas respectivamente teniendo en cuenta la fuerza que deben hacer para deformarlo. En la Fig. 9 se observa a los estudiantes deformando uno de estos plásticos para luego reportar la cantidad de fuerza que necesitaron y analizar su experiencia. De igual forma como en todas las actividades se presentan aplicaciones a la tecnología y a la industria.

Es importante notar que cada módulo contiene hojas de trabajo las cuales realizan preguntas de análisis referentes a los experimentos, permitiéndoles a los estudiantes registrar datos además de establecer conclusiones sobre los

nanomateriales por su propia cuenta [10].

*c) Corrección del material y análisis de resultados de la implementación*

Luego de la implementación de NanoBox se realizaron cambios en algunas preguntas de las hojas de trabajo para que éstas fueran más intencionales. No se realizó ningún cambio significativo en las guías o en los experimentos.

Paralelamente a la implementación de NanoBox en el grado 1102, en el curso 1001 se dictaron los mismos temas de manera tradicional. De manera que se expusieron los mismos tres módulos únicamente utilizando el tablero mientras los alumnos escribían en sus cuadernos. Al finalizar la implementación de NanoBox se les solicitó a los estudiantes de ambos cursos que respondieran un cuestionario que contenía algunas de las preguntas realizadas en la etapa de concepciones previas. Esto con el fin de medir el cambio en la percepción de los estudiantes con respecto a la física y su enseñanza luego de las sesiones. A continuación se presentan las gráficas porcentuales de las concepciones de los estudiantes con respecto a la ciencia y las clases de física luego de las sesiones con NanoBox, contrastadas con las concepciones iniciales, y las clases en el curso de control, dando cuenta del impacto de la utilización NanoBox en una clase de física de grado once.

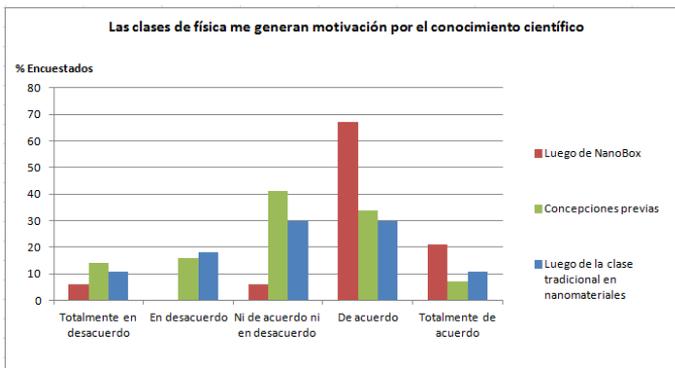


FIGURA 10. Comparación entre las concepciones de los estudiantes antes y después de NanoBox y con respecto a la clase tradicional, pregunta 1

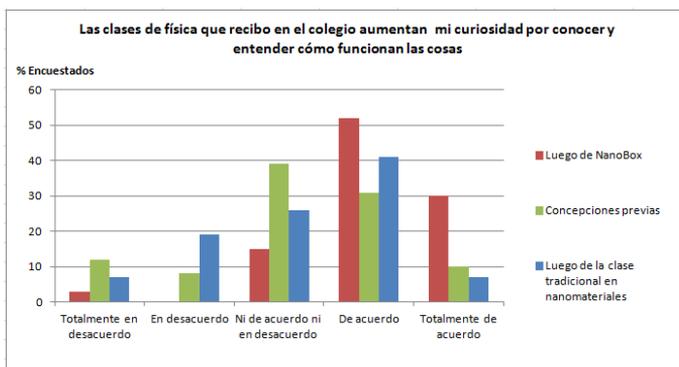


FIGURA 11. Comparación entre las concepciones de los estudiantes antes y después de NanoBox y con respecto a la clase tradicional, pregunta 2

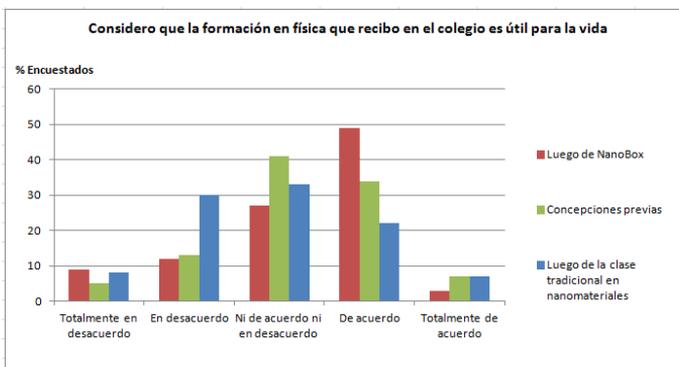


FIGURA 12. Comparación entre las concepciones de los estudiantes antes y después de NanoBox y con respecto a la clase tradicional, pregunta 3

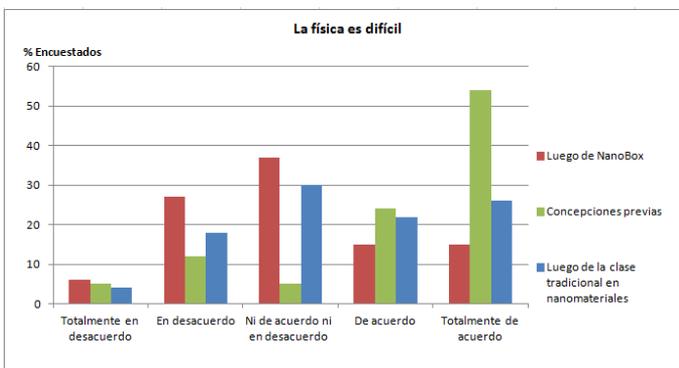


FIGURA 13. Comparación entre las concepciones de los estudiantes antes y después de NanoBox y con respecto a la clase tradicional, pregunta 4

Los resultados de las encuestas posteriores a la implementación de NanoBox revelan un incremento significativo en las ideas que los alumnos tienen sobre la física y su enseñanza utilizando este tipo de metodología. NanoBox logró aumentar en 41% la curiosidad científica de los estudiantes y en un 51% la motivación científica. También logró mejorar en un 11% la concepción de la utilidad de la física en la cotidianidad y logró disminuir en un 41% la percepción por parte de los estudiantes sobre la dificultad de la física.

Estas mejoras en las concepciones de la física por parte de los alumnos se deben a que NanoBox permite que quienes la utilizan perciban la física más cercana, divertida, interesante como lo evidencian las opiniones favorables de los estudiantes con respecto a su aprendizaje a través de NanoBox. También se observan mejoras en algunas concepciones iniciales de los estudiantes luego de la clase tradicional, en especial con respecto a la dificultad de la física. Sin embargo estas mejoras no son tan altas en comparación a las resultantes con la NanoBox. La clase tradicional en nanomateriales aumentó en 17% la curiosidad científica de los estudiantes y mantuvo en el mismo porcentaje la motivación científica. Con respecto a la utilidad de la física, disminuyó un 22% la relación de la física en la cotidianidad. También se logró disminuir en un 30% la percepción por parte de los estudiantes sobre la dificultad de la física.

## **Conclusiones**

Existen problemas concretos en la enseñanza de la física en la población de estudio tales como baja motivación por el conocimiento científico y muy baja experimentación, lo impide que los estudiantes relacionen lo aprendido con su cotidianidad tal como se reporta en la literatura. Como respuesta a esta problemática NanoBox logró ser un material educativo en nanomateriales efectivo basado en indagación científica, el cual permite que los estudiantes interactúen con la física directamente y aprendan mientras trabajan. Dicho material logró aumentar significativamente las percepciones iniciales de los estudiantes que no eran favorables, tales como la física y su utilidad en la vida cotidiana de los estudiantes. También logró incrementar en gran medida la escasa curiosidad científica y la motivación por el conocimiento científico de los estudiantes que generan las clases tradicionales de física.

Adicionalmente, NanoBox logró disminuir la idea de los estudiantes con respecto a la dificultad de la física debido a las características favorables percibidas por los estudiantes generando una clase divertida y entretenida. A través de las guías de indagación y las hojas de trabajo de NanoBox, se logran alcanzar mayores niveles de aprendizaje en la taxonomía de Bloom, ya que NanoBox lleva a analizar situaciones y a desarrollar la creatividad en algunas actividades. Se puede decir

que la clase control presentó mejoras en algunas concepciones previas de los estudiantes, evidenciando que temas de actualidad científica logran aumentar la curiosidad de los estudiantes.

Materiales como NanoBox estimulan la creatividad científica a través de guías de indagación que permiten variedad de respuestas y desarrollo del pensamiento. Sin embargo esto es un proceso que requiere de mayor tiempo de implementación de este tipo de elementos interactivos para evidenciar mejoras en este aspecto.

## Referencias

- [1] Colciencias. (2013). Ciencia, Tecnología e Innovación en Educación. [Online]. Disponible en: [http://www.colciencias.gov.co/programa\\_estrategia/programa-nacional-de-estudios-cient-ficos-de-la-educaci-n-0](http://www.colciencias.gov.co/programa_estrategia/programa-nacional-de-estudios-cient-ficos-de-la-educaci-n-0)
- [2] Y. Acosta y J. Anacona “Implementación de la superfluidez en la enseñanza de los estados de la materia para grado once”, Revista Científica: Universidad Distrital Francisco José Caldas, vol. 13, 2011
- [3] Icfesmejor saber. (2012). Consulta de resultados. [Online]. Disponible en: <http://www2.icfesinteractivo.gov.co/ReportesSaber359/>
- [4] Colciencias. Programa Ondas [Online]. Disponible en: [http://www.colciencias.gov.co/programa\\_estrategia/programa-ondas](http://www.colciencias.gov.co/programa_estrategia/programa-ondas)
- [5] Forehand, M. The University of Georgia (2012). Bloom’s Taxonomy
- [6] Kahn, P. & O’Rourke K. University of Manchester (2005).
- [7] Daugbjerg, P. Schrøder, “Science teachers’ narratives on motivation and commitment”, Aalborg Universitet, 2012
- [8] NanoSchoolBox - Nanotechnology experiments. Disponible en: <http://nanoyou.eu/>
- [9] Cuenot, S., Frétygny, C., Demoustier, S., & Nysten, B.,” Surface tension effect on the mechanical properties of nanomaterials measured by atomic force microscopy”, Physical Review B, vol. 69, pp. 165410, 2004
- [10] C. Ruano, “Desarrollo de material educativo en nanomateriales como promotor de la creatividad científica en estudiantes de media secundaria”, Monografía de grado dirigida por Y. Hernández, Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, may. 2015.
- [11] Hornyak, G., Tibbals, H., Dutta, J. & Moore, J, Introduction to Nanoscale Science and Technology. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2009
- [12] Rafiee, J., Rafiee, M., Yu, Z., & Koratkar, N., “Superhydrophobic to Superhydrophilic Wetting Control in Graphene Films”, Advance materials, vol. 22, pp. 2151–2154, 2010
- [13] Allaoui, A., Bai, s. Cheng, H., Bai, J.” Mechanical and electrical properties of a MWNT/epoxy composite”, Composites Science