

Preparación de puntos cuánticos de carbono para enseñar conceptos de absorción y emisión de energía

Obtaining carbon quantum dots to teach the concepts of absorption and emission of energy

Kelly Alejandra Cueto Álvarez¹ y Maurin Salamanca¹

Resumen

Este artículo presenta una estrategia didáctica innovadora implementada para estudiantes de química básica en la educación media con el objetivo de enseñar conceptos abstractos y difíciles de entender en química, de una forma más atractiva y accesible. La estrategia se basa en el uso de experiencias prácticas en el aula, utilizando la nanotecnología como herramienta diferenciadora. Se centra en la preparación de puntos cuánticos de carbono mediante un proceso sencillo pero fascinante, para abordar experimentalmente los conceptos de absorción y emisión de energía. La estrategia comienza con la identificación de conceptos previos necesarios y la introducción de nuevos conceptos relacionados con los puntos cuánticos de carbono. A continuación, tiene lugar la fase de desarrollo, en la que los alumnos siguen una guía de trabajo para preparar los puntos cuánticos y discuten la relación entre lo observado y los conceptos aprendidos. Por último, se utiliza una herramienta de evaluación para medir los resultados obtenidos, y se demuestra que la estrategia ha mejorado significativamente la comprensión de conceptos como la absorción y la emisión de energía. Adicionalmente, los alumnos tienen la oportunidad de aprender sobre nanotecnología y crear estructuras con impacto tecnológico y medioambiental. Se ofrece un enfoque refrescante y atractivo del aprendizaje de la química.

Palabras clave: Enseñanza de la química, absorción y emisión de energía, puntos cuánticos de carbono, nanotecnología, educación.

Abstract

This article implements an innovative teaching strategy for general chemistry students of secondary education. The main goal is to teach abstract and challenging chemical concepts in a more engaging and accessible way for students. The strategy is based on practical experiences in the classroom and the use of nanotechnology as an innovative tool. Specifically, it focuses on obtaining carbon quantum dots through a simple yet fascinating process, which allows for teaching concepts of absorption and emission of energy. The strategy's approach begins with identifying necessary prior concepts and introducing new concepts related to carbon quantum dots. Next, the students prepare the quantum dots following a practical guide, and then a conversation takes place to discuss the relationship between the experimental observations and the theoretical concepts. Finally, an assessment tool is employed to measure the outcomes. It was found that the strategy significantly enhanced the understanding of concepts such as absorption and emission of energy. Additionally, students could learn about nanotechnology and create environmentally friendly structures with technological impact.

Keywords: Teaching Chemistry, Absorption and Emission of Energy, Carbon Quantum Dots, Nanotechnology, Education.

CÓMO CITAR:

Cueto Álvarez, K. A., Y Salamanca, M. (2024, julio-septiembre). Preparación de puntos cuánticos de carbono para enseñar conceptos de absorción y emisión de energía. *Educación Química*, 35(3). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.3.87106>

¹ Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Facultad de Ciencias, Grupo de Investigación Ciencia de Materiales Avanzados, Carrera 65 Nro. 59A - 110, Medellín, Colombia

Introducción

La química es una ciencia que, dentro del ámbito de la educación obligatoria, específicamente en educación media y superior, representa un alto grado de complejidad gracias a la “gran acumulación de información abstracta y compleja” (Nakamatsu, 2012), en donde, la enseñanza de los conceptos propios del área representa grandes desafíos para los docentes (Furió & Furió, 2000). Aspecto en el que la didáctica juega un papel importante en la adquisición de estrategias para la transferencia de temáticas relacionadas con la química, asunto que directamente se relaciona con la tarea del docente de “llevar a cabo de la manera más adecuada su tarea de enseñar” (Runge Peña, 2013). Por consiguiente, se requiere más que solo transmisión de información, dado que la materia demanda una inmersión rigurosa en el mundo de la ciencia, y en la relación práctica con su entorno y su cotidianidad (Ordaz González & Mostue, 2018).

La complejidad a la cual se enfrentan los estudiantes en el aprendizaje se demuestra en los resultados obtenidos en las pruebas PISA “Programa para la evaluación internacional de alumnos” (Programme for international student assessment) en el año 2018, con respecto al área de ciencias, la evaluación se basa en la comprensión de conceptos y la aplicación de razonamiento científico en la cotidianidad. Los resultados muestran que el 76.4% de los estudiantes obtuvieron un nivel de desempeño inferior a 3 (calificación de 1 a 6, donde 1 es el nivel de desempeño más bajo y el 6 el más alto), lo que indica que podrían conocer y entender fenómenos científicos familiares (OECD, 2019a). En Colombia, se obtuvo un rendimiento menor que la media global, alrededor del 50% de los estudiantes colombianos solo alcanzaron el nivel 2, y un porcentaje insignificante alcanzó un nivel de desempeño por encima del nivel 5 (OECD, 2019b).

Esto también se refleja en las calificaciones obtenidas en las pruebas saber 11 del estado colombiano, la cual busca evaluar las competencias básicas que debe desarrollar un estudiante por su paso en la vida escolar (Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación - ICFES, 2022). En este contexto, en el año 2022 se obtuvo un promedio de calificación general de 50/100 entre los estudiantes colombianos con calendario A (calendario que comienza a inicios de año y su duración es de 40 semanas), al que pertenecen la mayoría de las instituciones educativas del país, especialmente los colegios públicos (gubernamentales). Se observa que el 71% de los estudiantes evaluados se ubicaron en los niveles de desempeño 1 y 2 (los niveles de desempeño se dividen de 1 a 4, donde 1 es el más bajo y 4 es el más alto), y solo el 2% alcanzó el nivel 4 (Bernal et al., 2023). Si un estudiante se ubica en el nivel 1, demuestra que es capaz de reconocer información explícita, con un lenguaje cotidiano e implica la lectura de una sola variable independiente. Cuando se ubican en el nivel 2, adicionalmente puede identificar patrones y características a partir de información presentada en el texto, puede relacionar esquemas con nociones básicas del conocimiento científico, establecer predicciones a partir de los datos presentados. En el nivel 3, también puede interrelacionar conceptos, leyes y teorías científicas con información presentada en distintos conceptos, así como diferenciar entre evidencias y conclusiones, plantear hipótesis en evidencias y relacionar variables para explicar fenómenos naturales. El estudiante que se ubica en el nivel 4 puede usar conceptos, teorías o leyes en la solución de situaciones problema que involucran procedimientos, habilidades, conocimientos y lenguaje propio de las ciencias. También es capaz de plantear preguntas de investigación

a partir de un contexto, comunicar resultados y establecer conclusiones a partir de una investigación (Ministerio de educación nacional, 2022).

En este sentido, el reto didáctico que se presenta en el área de química como ciencia experimental es lograr que los estudiantes puedan comprender los hechos que ocurren a su alrededor (Nakamatsu, 2012). Por tanto, en este estudio se propone el uso de la preparación de puntos cuánticos de carbono como una práctica experimental para comprender conceptos esenciales de la química como lo son la absorción y la emisión de energía, estrategia que tiene como base la conexión entre la teoría y la práctica a partir de la experiencia, basándose en el aprendizaje por descubrimiento propuesto por el pedagogo John Dewey. En busca de superar diferentes barreras educativas, se propone el uso de tecnologías innovadoras de la actualidad como lo es la nanotecnología, con el fin de adquirir conocimientos científicos a través de la experimentación, cultivando el pensamiento crítico y habilidades para el mundo real, aplicando también el modelo educativo STEM (Ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas).

John Dewey proponía unir la teoría con la práctica, donde las experiencias experimentales permiten fortalecer los conocimientos, puesto que “la educación es una constante reorganización o reconstrucción de la experiencia” (Ruiz, 2013), en donde se podría ubicar la pedagogía experiencial que trata de combinar la teoría y la práctica a partir de la enseñanza experiencial (Arroyave Rave, 2021). Por tanto, el aprendizaje es una consecuencia de enfrentarse a un problema que ha surgido en una actividad que, en este caso, se presenta en el aula de clases. La idea es que el alumno, a través de una estrategia didáctica, tenga una experiencia innovadora en la que muestre interés y se estimule su pensamiento científico. También, se desarrolla la comprensión de información que es necesaria para llevar a cabo la actividad, con el fin de que el mismo la desarrolle, aclare y descubra los conocimientos, conceptos y temáticas propuestas (Cadrecha, 1990).

Existen contribuciones que han realizado distintos investigadores a la educación en la que han utilizado la nanociencia, especialmente la preparación de puntos cuánticos de carbono, como una herramienta didáctica para estudiantes en áreas de la química y la física. En Brasil, según el estudio de Vaz et al. (2015), se llevó a cabo un experimento en estudiantes de educación superior en el cual se sintetizan puntos cuánticos de carbono utilizando gelatina sin sabor como precursor utilizando el método de la pirolisis a alta temperatura y en atmósfera controlada, los autores aseguran que la experiencia fue un recurso didáctico eficaz para abordar conceptos fundamentales en la materia, tales como los principios básicos de luminiscencia, absorción y emisión de energía, sin embargo, no se muestran los resultados de como la actividad experimental influyó en la adquisición de conceptos por parte de los estudiantes.

Otros autores como Schneider et al. (2019) proponen producir puntos cuánticos de carbono de una manera simple a partir de material orgánico como ácido cítrico, jugo de limón o jugo de naranja. Esto con el fin de realizar la práctica de manera ilustrativa y en donde los estudiantes observen la fluorescencia obtenida utilizando equipos comunes en el laboratorio. Otros docentes como Santos et al. (2020) proponen la preparación y caracterización de puntos cuánticos de sulfuro de cobre, indio y zinc, amigables con el ambiente, para utilizarlo como práctica experimental en el aula de clase con el fin de motivar a estudiantes del pregrado de química, porque se tiene contacto directo con la obtención de estos nanomateriales. Con esta experiencia los estudiantes aprenden sobre

espectroscopia electrónica de absorción y de emisión, composición y morfología de materiales, fluorescencia, y síntesis de nanopartículas luminiscentes, un tema que se puede utilizar en discusiones diversas de gran interés en la carrera de química.

Con base a lo anterior, se propone la nanotecnología como “recurso didáctico” (Gaviria Cortés et al., 2023) para presentar en las aulas de clases, siendo esta una disciplina científica que se encarga de estudiar y controlar la materia a nivel nanométrico, dado que a esta escala la materia posee propiedades únicas y diferentes a las estructuras en escala macro (Khamhaengpol et al., 2021), lo que termina siendo un asunto llamativo e innovador porque con esto se puede despertar el interés de los estudiantes en la nanotecnología y la ciencia de materiales, ramas de la ciencia que han tenido un impacto positivo en la sociedad actual, como en el campo de la medicina y la tecnología. Al realizar la preparación de puntos cuánticos de carbono de forma sencilla, los estudiantes pueden aplicar conceptos teóricos aprendidos en clase y esto refuerza el aprendizaje al vincular la teoría con la práctica. También conecta la ciencia con la transformación de objetos de la vida cotidiana, demostrando la importancia de la investigación científica y su impacto en la sociedad, inspirando a los estudiantes a considerar carreras en campos STEM.

Entre los diferentes tipos de nanopartículas que se han desarrollado, se han seleccionado los puntos cuánticos de carbono, que son nanoestructuras de carbono que reciben mucha atención por sus propiedades: fotoluminiscencia, estabilidad química, baja toxicidad y biocompatibilidad. Además, son capaces de emitir fluorescencia por excitación fotónica y su tamaño es de menos de 10 nm. Estas partículas se pueden obtener fácilmente a partir de fuentes orgánicas y con procesos a bajo costo. Por la misma razón, también son de baja toxicidad, por lo que, su manipulación y aplicación no conllevan riesgos significativos para el ser humano ni para el entorno (Ríos, 2021).

Lo anterior, convierte estos elementos en sustancias llamativas para los estudiantes, causando gran interés y cautivando su atención. Además, tiene aplicaciones en distintos campos: En la medicina como biomarcadores para detectar diferentes enfermedades difíciles de diagnosticar, tales como el cáncer, o también en la fotocatalisis porque pueden ser estimulados por la luz solar para promover reacciones químicas necesarias para llevar a cabo la degradación de compuestos orgánicos nocivos para el ambiente, y en la conversión de energía porque son solubles en agua y puede ocurrir una fotodivisión, produciendo energía mediante la generación de hidrógeno (Jorns & Pappas, 2021).

Asimismo, algunos conceptos de la química como la absorción y emisión de energía se pueden explicar a partir de lo anterior, ya que la fluorescencia se produce cuando los electrones son excitados por radiación electromagnética y se libera energía en forma de fotones con longitud de onda diferente a la luz absorbida. El comportamiento de los puntos cuánticos de carbono permite comprender conceptos y modelos como el modelo atómico de Bohr, lo que ocurre en la transición electrónica, y relacionar conceptos previos como las ondas, la radiación electromagnética, y el átomo (Vaz et al., 2015). Por esta razón, se implementa una práctica de laboratorio en el aula de clase en donde se preparan puntos cuánticos de carbono de forma sencilla y con materiales de fácil acceso para todos. Teniendo en cuenta el modelo educativo STEM, se busca presentar situaciones innovadoras en el aula, implementando prácticas relacionadas con el mundo real y que contribuyan al pensamiento científico, incentivando la creatividad, logrando que el estudiante adquiera un aprendizaje significativo, fomentando el papel activo, constructivo y crítico, mientras que el docente asume un rol de guía y orientador (Bautista, 2021).

La estrategia propuesta en este artículo ofrece la oportunidad de implementar la nanotecnología en la educación media y superior a través de un modelo educativo STEM (Widya et al., 2019), que integra ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas con el fin de desarrollar la creatividad de los estudiantes a través de la resolución de problemas y basándose en el aprendizaje por descubrimiento. Por todo lo dicho anteriormente, este estudio tiene como propósito la enseñanza de la absorción y emisión de energía a través de la preparación de puntos cuánticos de carbono.

Práctica experimental

Para la preparación de los puntos cuánticos de carbono, se realiza un procedimiento que fue adaptado del propuesto por Li et al. (2014).

Para ello, se necesitan los siguientes materiales y productos que serán los reactivos observados en la Figura 1: Agua, gelatina sin sabor, vinagre blanco (ácido acético), bicarbonato de sodio, recipiente de vidrio apto para calentamiento (tipo refractario), guantes resistentes al calor, instrumentos de medición para volumen (tazas medidoras), balanza para alimentos, horno microondas convencional y lámpara UV Led Ultravioleta con longitud de onda de 395 nm.



FIGURA 1. Materiales y reactivos.

En el recipiente de vidrio apto para calentamiento se añaden: 125 mL de agua, 30 mL de vinagre blanco y 7 gramos de gelatina sin sabor.

Esta mezcla se calienta durante 5 minutos en el horno microondas. Luego, se le agregan 10 g de bicarbonato de sodio a la mezcla, muy despacio y con la ayuda de una cuchara pequeña, y se vuelve a calentar durante otros 5 minutos en el horno microondas. Los pasos anteriores se ilustran en la Figura 2.

El resultado final es un líquido de color café, como se observa en la Figura 3.A, que indica la presencia de puntos cuánticos de carbono, los cuales son de color negro, pero por su tamaño tan pequeño, solo generan un cambio de color en la mezcla.

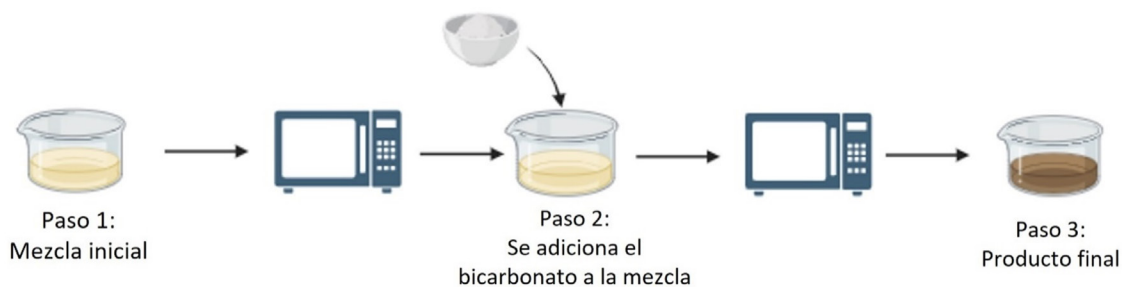
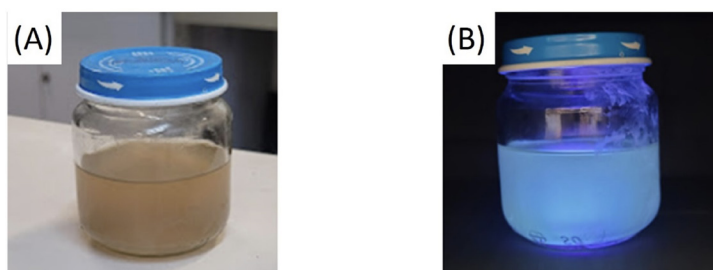


FIGURA 2. Pasos a seguir para preparar los puntos cuánticos de carbono.

Luego se debe dejar reposar y enfriar la mezcla. Por último, con la ayuda de una lámpara UV, se puede ver la fluorescencia tal como se evidencia en la Figura 3.B.

FIGURA 3. Producto final que contiene los puntos cuánticos de carbono (A) sin iluminación y (B) con iluminación de la lámpara UV con una longitud de onda de 395 nm.



De ser necesario, se pueden realizar las siguientes variaciones en la experiencia: Se puede reemplazar la gelatina sin sabor, por 40 gramos de carbohidratos (azúcar blanca, azúcar morena, panela, miel, etc.), también se puede reemplazar el vinagre blanco por zumo de limón (ácido cítrico).

Metodología de la experiencia pedagógica: intervención de aula

Esta intervención se realizó en la Institución Educativa distrital (IED) Rodrigo Galván de la Bastidas, ubicada en la ciudad de Santa Marta (Colombia). El grupo de estudiantes escogido pertenece al grado décimo, los cuales ya tienen conocimientos previos de química. Además, el plan de estudio del grado décimo incluye la materia de química. El grupo estuvo constituido por 20 estudiantes.

La metodología de intervención fue a partir de clases prácticas, en donde los estudiantes desarrollaron actividades de aplicación de los conocimientos que tenían a situaciones específicas con el fin de adquirir habilidades relacionadas con el objeto de estudio, que en este caso es absorción y emisión de energía. La actividad propuesta se puede desarrollar tanto en el aula de clase como en el laboratorio, ya que la práctica experimental utiliza implementos caseros de fácil acceso (Miguel Díaz, 2005). Por otro lado, se implementó la estrategia de aprendizaje por descubrimiento, propuesta por John Dewey (Westbrook, 1993).

Para dar cuenta de los cambios favorables o no favorables, o en su defecto la no existencia de cambios, se usó como instrumento de evaluación el cuestionario Knowledge and Prior Study Inventory (KPSI), en el que se busca determinar el conocimiento previo de los estudiantes y sus intereses respecto a la materia. Se aplica al inicio como prueba diagnóstica y al final de la intervención para valorar los conocimientos previos y adquiridos más allá de la calificación. En cuanto a las intervenciones en el aula se dividieron en etapas las cuales están descritas en la Tabla 1.

| Etapas | Descripción | Actividad |
|--|--|---|
| 1. Diagnóstico | Aplicación de instrumento de evaluación. | Cuestionario KPSI – Test inicial |
| 2. Conceptualización | Presentación guiada por el docente | Se le presenta a los estudiantes los conceptos aplicados en esta actividad y se resuelven dudas. |
| 3. Desarrollo de práctica experimental (procedimiento en la guía de trabajo) | Preparación de experimento | Se preparan los puntos cuánticos de carbono en el aula de clase junto con los estudiantes. El procedimiento se encuentra en la guía de trabajo (Material suplementario) y es guiado por el docente. |
| 4. Guía. Trabajo independiente | Desarrollo de las preguntas de la guía | Al finalizar el experimento, se desarrollan las preguntas como actividad independiente que se encuentran en la guía de trabajo. |
| 5. Evaluación | Aplicación de instrumento de evaluación. | Cuestionario KPSI – Test final |

TABLA 1. Etapas del diseño metodológico.

Discusión de resultados

La etapa inicial consiste en la evaluación de los ejes temáticos enseñados en cursos previos. Por lo tanto, los estudiantes deben conocer el átomo y sus partes, las órbitas (según el modelo atómico de Bohr), las ondas, la radiación electromagnética. Además, se añaden conceptos nuevos como la transición electrónica, la absorción y emisión de energía, la nanotecnología, la fluorescencia y los puntos cuánticos de carbono. El objetivo de esto es que los estudiantes se familiaricen con estos términos utilizando la práctica experimental como medio para su aprendizaje. Al finalizar la intervención, se vuelve a aplicar la evaluación para observar el aprendizaje adquirido después de la intervención. Las opciones de respuesta son: 1. No he oído hablar nunca de esto, 2. He oído hablar de esto, pero no se casi nada, 3. Sé un poco, y 4. Sé bastante. Se lo puedo explicar a un compañero de clase.

En la tabla 2 se observan los resultados obtenidos en los cuestionarios implementados tanto en la primera etapa, como en la última.

Los resultados del cuestionario final de la intervención señalan una mejora sustancial en la comprensión de los conceptos. Inicialmente, muchos estudiantes optaron por las opciones 1 y 2 en el cuestionario inicial. No obstante, al finalizar la intervención, se observa un cambio notable, con una preferencia marcada por las opciones 3 y 4, destacando que el 40% favoreció la opción 4 (ver Tabla 3). Estos resultados sugieren que la fase de conceptualización y experimentación ha contribuido de manera significativa el aprendizaje. Esta metodología aplicada permite a los estudiantes vincular autónomamente los conocimientos con la situación práctica presentada, mejorando así los resultados.

| <p>1. El átomo y sus partes</p> <table border="1"> <caption>Data for Topic 1: El átomo y sus partes</caption> <thead> <tr> <th>Opción (respuestas)</th> <th>Inicial (%)</th> <th>Final (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>10</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>85</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>5</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table> | Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | 1 | 0 | 0 | 2 | 10 | 0 | 3 | 85 | 60 | 4 | 5 | 40 | <p>2. Electrones</p> <table border="1"> <caption>Data for Topic 2: Electrones</caption> <thead> <tr> <th>Opción (respuestas)</th> <th>Inicial (%)</th> <th>Final (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>20</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>65</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>15</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table> | Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | 1 | 0 | 0 | 2 | 20 | 0 | 3 | 65 | 60 | 4 | 15 | 40 | <p>3. Ubicación de los electrones: Órbitas</p> <table border="1"> <caption>Data for Topic 3: Ubicación de los electrones: Órbitas</caption> <thead> <tr> <th>Opción (respuestas)</th> <th>Inicial (%)</th> <th>Final (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>85</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>15</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table> | Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | 1 | 85 | 0 | 2 | 15 | 5 | 3 | 0 | 55 | 4 | 0 | 40 |
|---|---------------------|-------------|-----------|---|----|---|---|----|----|---|----|----|---|---|----|---|---------------------|-------------|-----------|---|----|---|---|----|----|---|----|----|---|----|----|--|---------------------|-------------|-----------|---|----|---|---|----|----|---|----|----|---|---|----|
| Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 10 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 85 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 5 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 20 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 65 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 15 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 85 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 15 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0 | 55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>4. Radiación electromagnética</p> <table border="1"> <caption>Data for Topic 4: Radiación electromagnética</caption> <thead> <tr> <th>Opción (respuestas)</th> <th>Inicial (%)</th> <th>Final (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>20</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>70</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>10</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table> | Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | 1 | 20 | 0 | 2 | 70 | 5 | 3 | 10 | 70 | 4 | 0 | 25 | <p>5. Ondas</p> <table border="1"> <caption>Data for Topic 5: Ondas</caption> <thead> <tr> <th>Opción (respuestas)</th> <th>Inicial (%)</th> <th>Final (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>40</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>40</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>20</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>70</td> </tr> </tbody> </table> | Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | 1 | 40 | 0 | 2 | 40 | 5 | 3 | 20 | 25 | 4 | 0 | 70 | <p>6. Rayos UV – Fluorescencia</p> <table border="1"> <caption>Data for Topic 6: Rayos UV – Fluorescencia</caption> <thead> <tr> <th>Opción (respuestas)</th> <th>Inicial (%)</th> <th>Final (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>65</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>30</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>5</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>45</td> </tr> </tbody> </table> | Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | 1 | 65 | 0 | 2 | 30 | 15 | 3 | 5 | 40 | 4 | 0 | 45 |
| Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 20 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 70 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 10 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 40 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 40 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 20 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 65 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 30 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 5 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>7. Estado fundamental del átomo</p> <table border="1"> <caption>Data for Topic 7: Estado fundamental del átomo</caption> <thead> <tr> <th>Opción (respuestas)</th> <th>Inicial (%)</th> <th>Final (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>25</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>45</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>30</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table> | Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | 1 | 25 | 0 | 2 | 45 | 30 | 3 | 30 | 50 | 4 | 0 | 20 | <p>8. Estado excitado de un átomo</p> <table border="1"> <caption>Data for Topic 8: Estado excitado de un átomo</caption> <thead> <tr> <th>Opción (respuestas)</th> <th>Inicial (%)</th> <th>Final (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>65</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>30</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>5</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table> | Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | 1 | 65 | 0 | 2 | 30 | 10 | 3 | 5 | 50 | 4 | 0 | 40 | <p>9. Fotón</p> <table border="1"> <caption>Data for Topic 9: Fotón</caption> <thead> <tr> <th>Opción (respuestas)</th> <th>Inicial (%)</th> <th>Final (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>75</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>20</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>5</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table> | Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | 1 | 75 | 0 | 2 | 20 | 15 | 3 | 5 | 60 | 4 | 0 | 25 |
| Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 25 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 45 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 30 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 65 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 30 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 5 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 75 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 20 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 5 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>10. Transición electrónica (absorción y emisión de energía)</p> <table border="1"> <caption>Data for Topic 10: Transición electrónica (absorción y emisión de energía)</caption> <thead> <tr> <th>Opción (respuestas)</th> <th>Inicial (%)</th> <th>Final (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>30</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>50</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>20</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table> | Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | 1 | 30 | 0 | 2 | 50 | 5 | 3 | 20 | 35 | 4 | 0 | 60 | <p>11. Modelo atómico de Bohr</p> <table border="1"> <caption>Data for Topic 11: Modelo atómico de Bohr</caption> <thead> <tr> <th>Opción (respuestas)</th> <th>Inicial (%)</th> <th>Final (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>70</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>30</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table> | Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | 1 | 70 | 0 | 2 | 30 | 10 | 3 | 0 | 50 | 4 | 0 | 40 | <p>12. Nanotecnología</p> <table border="1"> <caption>Data for Topic 12: Nanotecnología</caption> <thead> <tr> <th>Opción (respuestas)</th> <th>Inicial (%)</th> <th>Final (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>25</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>50</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>25</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>55</td> </tr> </tbody> </table> | Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | 1 | 25 | 0 | 2 | 50 | 10 | 3 | 25 | 35 | 4 | 0 | 55 |
| Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 30 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 50 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 20 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 70 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 30 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 25 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 50 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 25 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>13. Nanómetro</p> <table border="1"> <caption>Data for Topic 13: Nanómetro</caption> <thead> <tr> <th>Opción (respuestas)</th> <th>Inicial (%)</th> <th>Final (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>45</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>35</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>20</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>35</td> </tr> </tbody> </table> | Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | 1 | 45 | 0 | 2 | 35 | 5 | 3 | 20 | 60 | 4 | 0 | 35 | <p>14. Puntos cuánticos de carbono</p> <table border="1"> <caption>Data for Topic 14: Puntos cuánticos de carbono</caption> <thead> <tr> <th>Opción (respuestas)</th> <th>Inicial (%)</th> <th>Final (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>75</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>20</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>5</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table> | Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | 1 | 75 | 0 | 2 | 20 | 10 | 3 | 5 | 65 | 4 | 0 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 45 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 35 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 20 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Opción (respuestas) | Inicial (%) | Final (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 75 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 20 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 5 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

TABLA 2. Comparativo de resultados iniciales (azul) y finales (rojo) obtenidos en los cuestionarios KPSI. 1. No he oído hablar nunca de esto, 2. He oído hablar de esto, pero no se casi nada, 3. Sé un poco, y 4. Sé bastante. Se lo puedo explicar a un compañero de clase.

TABLA 3. Promedio de estudiantes para cada valor del cuestionario KPSI.

| VALORES | PROMEDIO DE ESTUDIANTES (TEST INICIAL) | PROMEDIO DE ESTUDIANTES (TEST FINAL) |
|---------|--|--------------------------------------|
| 1 | 44.3% | 0.0% |
| 2 | 33.2% | 8.9% |
| 3 | 21.1% | 51.1% |
| 4 | 1.4% | 40.0% |

En la etapa de conceptualización, se destacó la importancia de entender los conceptos previos, como el átomo y la ubicación de los electrones según el modelo atómico de Bohr, en las órbitas y como estos electrones pueden realizar transiciones electrónicas al ganar (absorber) energía o al perder (emitir) energía. Los resultados indicaron una mejora significativa, con un 100% de comprensión del átomo y un 95% de comprensión de la ubicación de los electrones. En relación con los conceptos nuevos, el 80% de los estudiantes al inicio de la intervención no estaban familiarizados con la absorción y la emisión de energía. Al final, este conocimiento y comprensión aumentaron al 95%, donde relacionaron la luz emitida por la lámpara UV como la fuente de energía que los átomos de los puntos de carbono pueden absorber, y entendieron que la luz (color) que emiten los puntos de carbono corresponde a la fluorescencia, es decir, a la emisión de energía de estos átomos.

Al inicio de la experiencia, el 70% no sabía que era la nanotecnología, pero al final, el 80% entendía el concepto al entender que había estructuras que no podían diferenciar a simple vista en la preparación y que tenían propiedades especiales como la fluorescencia y esto se relacionó con que un 95% de los estudiantes demostró la comprensión de los puntos cuánticos de carbono luego de realizar la experiencia y aprender sobre su preparación.

Este enfoque de aprendizaje por descubrimiento, teniendo en cuenta la relación entre la teoría y la práctica en un aula de clase y aplicando también el modelo educativo STEM, permitió a los estudiantes preparar puntos cuánticos de carbono de manera guiada y autónoma. Los resultados indican que se adquirieron significativamente conceptos que suelen ser abstractos por el método tradicional de enseñanza mediante esta estrategia, y se destaca la relación visual entre conceptos como la fluorescencia y la transición electrónica. Durante la intervención, los estudiantes demostraron motivación y curiosidad, generando dudas y mostrando un interés sostenido durante la experiencia. Este entusiasmo se atribuye a la oportunidad de explorar y descubrir la relevancia de la química en la vida cotidiana y en la creación y estudio de nuevas tecnologías. La función del docente como facilitador del aprendizaje y guía en el procedimiento resultó fundamental, ya que logra establecer un equilibrio adecuado entre la dirección del docente y la autonomía del estudiante. Estas habilidades asociadas con la investigación, la ciencia, la tecnología, son valiosas en la sociedad actual.

Conclusiones

Después de aplicar la estrategia didáctica, los estudiantes mejoraron la comprensión de los conceptos de absorción y emisión de energía, la mayoría considera que lo entiende y es capaz de explicárselo a un compañero de clase.

En cuanto a los conocimientos obtenidos sobre nanomateriales, los estudiantes aprendieron sobre herramientas innovadoras y nuevas tecnologías, logrando preparar puntos cuánticos de carbono de forma sencilla y con materiales fáciles de conseguir,

incentivando la creatividad y el pensamiento científico de los estudiantes, logrando una inmersión en la ciencia y en las nuevas tecnologías, contribuyendo así al desarrollo de sus capacidades para afrontar situaciones prácticas.

Se logró implementar un modelo educativo teórico-práctico, basado en el aprendizaje por descubrimiento propuesto por John Dewey, donde el rol del docente pasa a ser orientador y guía del proceso y, por otro lado, el estudiante aprende de forma autónoma, a relacionar conceptos con la práctica experimental realizada, logrando un aprendizaje significativo, aumentando la motivación y los buenos resultados.

Referencias

- Arroyave Rave, Y. (2021). Saberes pedagógico-didácticos experienciales en Colombia: desde perspectivas hermenéuticas, abductivas y narrativas. *Revista Venezolana de Gerencia*, 26(5 Edición Especial), 170–189. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.26.e5.12>
- Bautista, A. (2021). STEAM education: contributing evidence of validity and effectiveness (Educación STEAM: aportando pruebas de validez y efectividad). *Infancia y Aprendizaje*, 44(4), 755–768. <https://doi.org/10.1080/02103702.2021.1926678>
- Cadreja, M. (1990). John Dewey: Propuesta de un modelo educativo. *Aula Abierta No. 55*, 61–87.
- Furió, C & Furió, C. (2000) Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación Química*, 11 (3) 300 – 308. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2000.3.66442>
- Gaviria Cortés, D. F., Chaverra Fernández, B. E., Ospina Ospina, E. V., Uribe Pareja, I. D., Muriel Echavarría, J. M., Moreno López, J. D., Cardona Mejía, L. M., & Bustamante Castaño, S. A. (2023). *Cómo son y qué hacen los buenos profesores. Sus voces y las de sus estudiantes*. Fondo Editorial FCSH. <https://doi.org/10.17533/978-628-7592-65-0>
- Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (Icfes). (2022). Informe nacional de resultados de las pruebas Saber 3º, 5º, 7º y 9º. Aplicación 2022. https://www.icfes.gov.co/documents/39286/19845423/Informe_saber_359_06_2022.pdf
- Jorns, M., & Pappas, D. (2021). A review of fluorescent carbon dots, their synthesis, physical and chemical characteristics, and applications. In *Nanomaterials* (Vol. 11, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nano11061448>
- Khamhaengpol, A., Sriprom, M., & Chuamchaitrakool, P. (2021). Development of STEAM activity on nanotechnology to determine basic science process skills and engineering design process for high school students. *Thinking Skills and Creativity*, 39, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100796>
- Li, Y., Zhong, X., Rider, A. E., Furman, S. A., & Ostrikov, K. (2014). Fast, energy-efficient synthesis of luminescent carbon quantum dots. *Green Chemistry*, 16(5), 2566–2570. <https://doi.org/10.1039/c3gc42562b>
- Miguel Díaz, M. de. (2005). *Modalidades de enseñanza centradas en el desarrollo de competencias: orientaciones para promover el cambio metodológico en el espacio europeo de educación superior*. Servicio de Publicaciones. Universidad de Oviedo.

- Ministerio de educación nacional. (2022). *Niveles de desempeño Prueba de Ciencias Naturales Saber 11*. <https://www.icfes.gov.co/documents/39286/10065230/Niveles+de+desempe%C3%B1o+Ciencias+Naturales+Saber+11.%C2%BA+2022.pdf>
- Molano, A., Trujillo, L., González, N., Ortega, Ó., Soler, S., Benjumea, R., Caro, P., Montaña, C., Árevalo, C., Pérez, D., Durán, C., Niño, H., Mejía, L., Leyton, A., Ramírez, L., Contreras, J., Molano, A., Cortes, J., & Bello, A. (2022). *Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (Icfes). Informe nacional de resultados del examen Saber 11°*. https://www.icfes.gov.co/documents/39286/1689945/Informe_nacional_de+resultados_Saber11_2021.pdf/68ccc718-dc51-71de-5693-bb907477fa87?t=1655481600171
- Nakamatsu, J. (2012). Reflexiones sobre la enseñanza de la Química. *En Blanco y Negro*, 3(2), 38–46. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/enblancoynegro/article/view/3862>
- OECD. (2019). *PISA 2018 Country note - Colombia*, PISA, OECD Publishing, Paris, https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA2018_CN_COL.pdf. OECD. <https://doi.org/10.1787/5f07c754-en>
- Ordaz González, G. J., & Mostue, M. B. (2018). Los caminos hacia una enseñanza no tradicional de la química. *Actualidades Investigativas En Educación*, 18(2). <https://doi.org/10.15517/aie.v18i2.33164>
- Ríos Quintero, C. (2021). *Síntesis y caracterización de carbon-dots a partir de una fuente renovable*. Universidad EIA. <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/87f985bc-9644-42ae-9d18-c065c9ae4dcb>
- Ruiz, G. (2013). La teoría de la experiencia de John Dewey: significación histórica y vigencia en el debate teórico contemporáneo. *Foro de Educación*, 11(15), 103–124. <https://doi.org/10.14516/fde.2013.011.015.005>
- Runge Peña, A. K. (2013). Didáctica: una introducción panorámica y comparada. *Itinerario Educativo*, 27(62), 201–240. <https://doi.org/10.21500/01212753.1500>
- Santos, C. I. L., Ferreira, J. C. A., Cunha, L. R. C., Vaz, R., & Schiavon, M. A. (2020). Síntese e caracterização de pontos quânticos ambientalmente amigáveis, um meio simples de exemplificar e explorar aspectos da nanociência e nanotecnologia em cursos de graduação. *Química Nova*, 43(6), 813–822. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170558>
- Vaz, R., Vieira, K. O., Machado, C. E., Ferrari, J. L., & Schiavon, M. A. (2015). Preparação de pontos de carbono e sua caracterização óptica: Um experimento para introduzir nanociência na graduação. *Química Nova*, 38(10), 1366–1373. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150150>
- Westbrook, R. (1993). *Perspectivas: revista trimestral de educación comparada*. UNESCO.
- Widya, Rifandi, R., & Laila Rahmi, Y. (2019). STEM education to fulfil the 21st century demand: A literature review. *Journal of Physics: Conference Series*, 1317(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1317/1/012208>