

Nociones cuánticas en la escuela secundaria: Un estudio de caso



Harold Moreno, Edgar D. Guarín

*Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional,
Calle 72 No.11-86. Bogotá, Colombia.*

E-mail: edavidsg_89@hotmail.com

(Recibido el 30 de Julio de 2010; aceptado el 18 de Septiembre de 2010)

Resumen

El siguiente estudio describe nuestra experiencia en la enseñanza de nociones básicas (una idea de tamaño, dualidad de la materia y el principio de superposición de estados) a nivel de secundaria. El objetivo del estudio se centró en aproximar a los estudiantes a concepciones alternativas de los conceptos antes mencionados desde la teoría cuántica, teniendo en cuenta las dificultades que conlleva el introducir estos conceptos en la escuela, debido al nivel de abstracción de pensamiento y la formalización matemática que implica. Para ello se diseñó un escenario didáctico centrado en el uso de analogías, discusiones, diseño de montajes experimentales y en el uso del lenguaje visual.

Palabras clave: Tamaño, dualidad onda partícula, superposición de estados, escenario didáctico, analogías.

Abstract

The following brief describes our experience in teaching the basics (an idea of size, substance duality and the states superposition principle) at secondary school level. The aim of the study was focused on bringing students to alternative conceptions of the concepts already mentioned from the quantum theory, taking into account the difficulties involved in introducing these concepts in school, due to the level of abstraction of thought and mathematical formalization involved. We also designed a didactic scenario focused on the use of analogies, discussions, design of experimental setups and the use of visual language.

Key words: Size, wave particle duality, superposition of states, didactic scene, analogies.

PACS: 01.40.Di, 01.40.Ha, 01.40.E-, 01.40.gb

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Es sabido que las teorías modernas como la Cuántica han sido catalogadas como ininteligibles, anti-intuitivas, difíciles, abstractas, etc., lo que permite suponer que este tipo de conocimiento sólo puede ser formulado en términos de conceptos matemáticos [1] de uso exclusivo de especialistas y por ende su aprendizaje por otros sujetos, como escolares, se podría reducir a la repetición de fórmulas matemáticas y a la no comprensión del contenido.

Luego, siendo el docente el que hace las trasposiciones pedagógicas en el aula de clase, se evidencia que no existe material que le permita aproximar al estudiante a las ideas modernas de la Física, para de este modo enfocar los temas modernos en la escuela; adicional a esto, aún cuando el docente pasa por todo un proceso de enseñanza-aprendizaje, persisten en él visiones deformadas o no superadas de los conceptos cuánticos [1].

Todos estos factores generan una gran problemática, puesto que quien lleva el conocimiento a una comunidad, debe ser quien está al tanto de los desarrollos que se

producen en la sociedad, por lo que consideramos que el maestro debe ser el actor académico más dinámico en el aula y el que construye camino para llevar el saber científico a la escuela.

Sumado a lo anterior, los programas curriculares de muchos países y las investigaciones internacionales acerca de la enseñanza de la Física, proponen el tratamiento escolar de los conceptos fundamentales de la teoría cuántica [1, 2, 3, 4], visualizando la importancia que tiene el propiciar espacios didácticos para acercar a los estudiantes de la escuela secundaria a dicha rama de la Física.

Con base en esto, consideramos que se debe promover el acercamiento de los estudiantes a la teoría cuántica, por lo menos cualitativamente, ya sea por cultura científica o tecnológica, debido a que buena parte de la tecnología actual se basa directa o indirectamente en la teoría cuántica, constituyéndose ésta en la plataforma de la electrónica basada en semiconductores, el láser y la tecnología nuclear, en especial la Resonancia Magnética Nuclear (NMR, sus siglas en inglés); además, la teoría cuántica juega un rol central en el desarrollo de tecnologías actuales como la computación cuántica.

En este sentido, el presente trabajo describe nuestra experiencia y la metodología utilizada en la enseñanza de conceptos físicos básicos (la idea de tamaño, la dualidad de la materia y la idea de superposición de estados) abordados desde una perspectiva cuántica a nivel de secundaria. El objetivo principal de este trabajo consistió en aproximar a los estudiantes a concepciones alternativas de los conceptos antes mencionados desde la teoría cuántica. De este modo, en la sección II se reflexiona sobre los procesos de enseñanza aprendizaje de las ciencias naturales, en la sección III se describen las nociones básicas abordadas con los estudiantes, luego en las secciones IV-VI se ilustra el diseño didáctico, la organización de la estrategia y la metodología utilizada. Finalmente en las secciones VII y VIII se dan a conocer los resultados obtenidos y las conclusiones que se desprendieron del trabajo realizado.

II. LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA EN EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS NATURALES

Los procesos de enseñanza aprendizaje de las ciencias naturales en la escuela básica y media, tienen como misión tender puentes entre el saber científico y los estudiantes, aproximarlos al conocimiento que ha alcanzado la ciencia y reconocer sus implicaciones en el progreso de las sociedades, para hacer de ellos sujetos críticos que comprendan y reflexionen sobre lo que ocurre en el mundo.

Por lo tanto, el maestro debe diseñar estrategias didácticas que le permitan construir los puentes y el camino que guiará al sujeto que aprende hacia el conocimiento científico. El concebir el diseño de puentes por parte del maestro y el admitir que se recorren caminos de manera conjunta, supone que los sujetos implicados en el acto de conocer no se constituyen como agentes pasivos, esto es, no se limitan a escuchar la clase, a tomar notas, etc., sino que participan activamente en la construcción del conocimiento.

Desde esta mirada, lo central del acto de aprender no recae en la repetición de conceptos sino en la comprensión que el estudiante logre del mundo natural y en las habilidades que desarrolle para tratar de dar cuenta de su entorno. Entonces el aprendizaje exige la comprensión por parte de quien aprende y no la mera realización de las acciones que no entienden.

Ahora, un maestro que concibe la participación de sus estudiantes en la construcción de su aprendizaje, valida las concepciones previas de los mismos y reconoce en ellas un punto de partida que guíe su acción didáctica. Al respecto Ausubel (1968, 1980, citado en Moreira 2004) señala que:

“Sólo se aprende a partir de lo que ya se sabe (...) cuando predomina el proceso de formación de conceptos, el mecanismo humano por excelencia para aprender es la asimilación de conceptos. Dentro de la asimilación de conceptos (...) la nueva información adquiere significados por interacción con algún subsumidor específicamente relevante. Es decir, el aprendiz acciona su

conocimiento previo para dar significado a la nueva información y esta, de cierta forma, se ancla (interactuando) con aquello que el aprendiz ya sabe” [3].

Por tanto los profesores que conocen las ideas previas de sus estudiantes pueden mejorar el aprendizaje de ellos [5].

III. NOCIONES CUÁNTICAS

Las nociones que abordamos para generar una comprensión de la fenomenología cuántica y que creemos que deberían desarrollarse en la escuela secundaria son: la idea de tamaño, la dualidad de la materia y la idea de superposición de estados; estas pueden develarse al estudiante de una manera sencilla haciendo uso de videos, analogías o experimentos mentales sencillos.

Mostraremos las definiciones de los conceptos con los cuales se trabajaron, para dar una idea sobre la ruta didáctica que se desarrolló posteriormente.

A. Una idea de tamaño

Las ideas de grande o pequeño son relativas, es decir, algo es pequeño en relación con algo que es grande, y un sistema pequeño al interactuar con uno grande le produce una perturbación despreciable. Dirac [6] introduce la idea de que en la naturaleza la magnitud de la “interacción más pequeña posible” es finita y diferente de cero. Cuando un sistema es alterado significativamente por la “interacción más pequeña posible”, se dice que el sistema es pequeño en el sentido absoluto.

Además, para ganar algún conocimiento sobre un sistema, es necesario observarlo y el acto de observación es una interacción con el sistema que se observa.

B. Dualidad de la materia

Se sabe que L. De Broglie sugirió en 1924 que a los electrones se les asocie una propiedad ondulatoria, por lo cual postuló que:

Es necesario tanto para la materia como para la radiación, en particular la luz, introducir simultáneamente el concepto de partícula y el concepto de onda. Como no pueden ser independientes, debe existir un paralelismo entre el movimiento de la partícula y la propagación de la onda asociada que gobierna su movimiento. Entonces podemos imaginar que una partícula que se mueve crea a su alrededor una onda que se le llama *onda de materia*. [7].

Claro está que las propiedades ondulatorias de la materia son irrelevantes para el mundo macroscópico.

C. El principio de superposición de estados

Desarrollando nociones cuánticas en la escuela secundaria apoyaron la aproximación de lo concreto a lo abstracto, como una herramienta que favoreció la comprensión posterior.

En la idea de estado resaltamos dos cosas que son importantes para el desarrollo de nuestro trabajo, *el objeto* y su forma de *estar*, adicional a esto cuando hablamos de estado, lo relacionamos a una cualidad general que perdura en un intervalo de tiempo; entonces podemos definir en un sistema qué cualidad permanece en el tiempo, por ejemplo, la cualidad de posición, de orientación, de movimiento, térmica, entre otras.

Por lo tanto cuando se habla de estado, se está refiriendo a la forma de estar en relación con una cualidad, por ejemplo: un auto *se mueve* con velocidad constante, un cuerpo *está* a 20 °C, etc.

También podemos ver que en la teoría cuántica se habla del *principio de superposición de estados*; este principio afirma que la combinación lineal de dos estados posibles del sistema, es también un estado posible del sistema.

Lo anterior puede llevar a pensar que los objetos cuánticos están en todos sus estados posibles y esto al sujeto le resulta ininteligible. Entonces, en mecánica cuántica la noción de cualidad se formaliza al introducir el principio de superposición.

Sintetizamos esta idea diciendo que es posible describir un sistema cuántico por medio de un vector de estado, el cual puede ser expandido en una superposición de estados particulares (auto-estados) de algún observable [8]:

$$|\psi\rangle = \sum_{i=1}^N c_i |\psi_i\rangle \quad (1)$$

IV. EL DISEÑO DIDÁCTICO

La propuesta de trabajo con los estudiantes giró en torno a los ejes principales presentados a continuación.

A. Ejes centrales de la estrategia

1. *Los saberes previos como punto de partida*: Como se explicitó en la sección II, los saberes previos de los estudiantes cumplen un papel central en el diseño de estrategias didácticas. De este modo, para cada uno de los momentos introductorios de la presente propuesta, se utilizaron un conjunto de preguntas cerradas y abiertas a manera de test y cuestionario, con el propósito de indagar sobre algunos aspectos asociados a la comprensión de la idea de tamaño, la dualidad y la idea de superposición de estados que tenían los estudiantes.

2. *El experimento y el aprendizaje de la física*: Por las características de los fenómenos físicos, resulta de gran utilidad para el maestro que diseña estrategias didácticas, el uso del experimento. Para la presente propuesta, el diseño de experimentos físicos y mentales facilitó al docente la construcción de analogías [9] que

3. *Herramientas Visuales como apoyo a la construcción de comprensiones*: El uso de herramientas visuales como videos, apoya de manera significativa el acto de aprender. Para la presente propuesta el uso de un video del Dr. Quantum que se encuentra disponible en la red (experimento de la doble rendija) [10] apoyó todo el escenario didáctico, debido a que se convirtió en el centro de las explicaciones posteriores que se hicieron en el aula y en el contexto ideal para reafirmar las comprensiones alcanzadas por los estudiantes.

4. *Socialización como escenario de encuentro de saberes*: Significar el papel del diálogo y la interacción entre pares y maestro, le permite al docente reconocer que en dicho diálogo se hacen evidentes los pensamientos de los actores, sus imaginarios, sus ideas y sus conceptos; ahora, en el desarrollo de este diálogo es posible que transformen, nutran o re-signifiquen las comprensiones que se tienen y que se desarrollan durante el trabajo didáctico [11].

Para el desarrollo de esta propuesta, cada momento de la ruta contaba con uno o dos espacios de socialización donde el maestro logró visualizar y afectar las ideas de los estudiantes, tanto las previas como las que se construyeron en el desarrollo de la estrategia.

V. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA

La estrategia se llevó a cabo en 3 momentos, cada uno de los cuales estaba dirigido a construir una de las nociones cuánticas básicas por medio de una serie de actividades propuestas. A continuación se presenta una síntesis de los momentos desarrollados y las actividades realizadas en cada uno de ellos (Tabla I)

A. Momento 1: Una idea de pequeño

Objetivos:

1. Construir una idea de tamaño que tenga un valor absoluto.
2. Llamar la atención de los estudiantes sobre la escala a la cual hace referencia la teoría cuántica.

Acciones del maestro y de los estudiantes:

Se realizan cuestionarios en compañía del maestro en grupos de máximo dos personas con las aclaraciones necesarias para facilitar la comprensión del tema que se desea introducir.

En esta fase los estudiantes realizan consultas sobre ordenes de magnitudes (masa, longitud, tiempo) con la intención de hacerlos conscientes de las dimensiones sobre las cuales no tienen experiencia directa pero sobre las cuales funciona la teoría.

Se complementan las actividades anteriores mediante el uso de un video [10] que permite reforzar el concepto que se está desarrollando y se realizan socializaciones acompañadas por el docente, en las cuales se pretende promover la discusión-argumentación con el fin de generar un espacio que permita el diálogo sobre lo pequeño.

Esta fase es importante ya que el estudiante comenzará a generar sus primeras reflexiones sobre situaciones físicas, de las cuales no puede tener experiencia directa.

B. Momento 2: discreto y continuo (dualidad de la materia)

Objetivo:

1. Comprender que desde la teoría cuántica el comportamiento de la materia es dual, esto es, se le puede asociar características ondulatorias y de partícula.

Acciones del maestro y de los estudiantes:

Se sigue haciendo uso de los test y talleres acompañados por el docente, que le permiten al maestro hacerse una idea sobre el nivel de comprensión en el cual se encuentran los estudiantes.

En este espacio se hace importante el uso de un montaje experimental (Figura 1), en el que se muestra cómo un agente físico como una onda que aparentemente es continua, se puede representar de forma discreta por medio del acoplamiento de varios osciladores. Este montaje sirve de anclaje para relacionar algunas nociones previas de los estudiantes con algunas definiciones de la mecánica clásica, por medio de las cuales se pueden hacer algunas analogías de los conceptos cuánticos que se desean desarrollar.

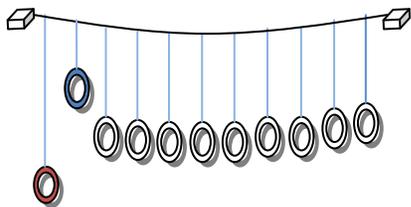


FIGURA 1. 12 osciladores acoplados.

C. Momento 3: La idea de superposición de estados

Objetivos:

1. Reconocer la importancia de la idea de estado para hablar de los fenómenos de la naturaleza.

2. Desarrollar el principio de superposición de estados y la notación de Dirac en situaciones físicas cuánticas.

Acciones del maestro y de los estudiantes:

Al llegar a este punto se mantienen los talleres y test que cumplirán los mismos objetivos que en los momentos anteriores. Para develar esta nueva idea se hace una relación con las ideas antes expuestas; las herramientas didácticas que más se utilizan aquí son las analogías (con dados batiéndose en la mano y monedas lanzadas al aire monedas) y experimentos mentales de situaciones físicas clásicas (trayectoria de un movimiento parabólico, el movimiento circular, la suma, etc.) En donde el objetivo de estas actividades fue lograr que el estudiante reconociera la importancia de la idea de superposición.

Se introduce la notación de Dirac y con la definición de superposición de estados y de estado con la que se trabaja en conjunto con los estudiantes previamente, se realizan experimentos mentales de situaciones físicas cuánticas tales como: El experimento de la doble rendija, la polarización del fotón, el experimento de Stern-Gerlach y la molécula de amoníaco.

VI. METODOLOGÍA

El trabajo nace con la intención de propiciar un espacio novedoso para aquellos estudiantes que estaban interesados por temas modernos de la Física. La modalidad de la investigación utilizada fue cualitativa interactiva, se seleccionó una población de 40 estudiantes de grado décimo del Instituto Pedagógico Nacional (IPN) de la ciudad de Bogotá (Colombia); se realizó un muestreo por conveniencia, por lo que se trabajó con 15 estudiantes que aceptaron participar en la propuesta.

La estrategia de aula titulada *Nociones Cuánticas En La Escuela Secundaria: Un estudio de caso*, se realizó desde la perspectiva de la investigación acción pedagógica. En este tipo de investigación prevalecen las acciones que emprende un maestro con miras a intentar transformar o re-significar prácticas de aula que beneficien sus intenciones pedagógicas.

El estudio que se realizó fue descriptivo, donde el objetivo principal se centró en aproximar a los estudiantes a concepciones alternativas de los conceptos antes mencionados vistos desde la teoría cuántica, tomando como punto de partida las ideas y/o pre-concepciones que los estudiantes poseían de los temas a tratar, para posteriormente realizar un análisis de la forma en la que se transformaron dichas concepciones y en la que se acogieron los nuevos conceptos.

Parte del material que se utilizó fue el desarrollado en el curso de Cuántica II impartido en el Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional, el cual fue diseñado por el profesor José Orlando Organista y el estudiante de licenciatura en física Alejandro Pérez Rangel. Se llevó un montaje experimental simple consistente de doce osciladores acoplados, una cubeta de ondas, un video del experimento de la doble rendija y los experimentos mentales de las situaciones físicas cuánticas antes mencionados.

TABLA I. Actividades: Descripción del escenario didáctico.

Momento	Descripción de Actividades
Momento 1: Una idea de pequeño	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuestionario para identificar las ideas previas respecto a la idea de tamaño 2. Socialización 3. Una exposición por parte de ellos sobre órdenes de magnitud de (longitud, tiempo, masa), (La escala). 4. Introducción de la idea de tamaño desde la teoría cuántica a partir del Video de la doble rendija del doctor quantum con una breve explicación. 5. Conclusiones por parte de los estudiantes y del docente
Momento 2: dualidad de la materia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuestionario para identificar las ideas previas respecto a la idea de discreto y continuo 2. Socialización 3. Introducción del concepto de electrón y su comportamiento como onda y partícula. 4. Montaje experimental constituido por doce osciladores con el que se hace una analogía del comportamiento corpuscular y ondulatorio. 5. Video de la doble rendija del doctor quantum con una breve explicación referente al comportamiento de la materia como onda y partícula. 6. Socialización y conclusiones
Momento 3: El principio de Superposición de estados	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuestionario para identificar las ideas previas respecto a la idea de estado 2. Socialización 3. uso de analogías y experimentos mentales para hablar de la idea de estado y de superposición de estados. 4. introducción de la notación de Dirac y su uso en situaciones físicas cuánticas.

VII. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La experiencia de desarrollar nociones cuánticas en la escuela secundaria puede, a partir del análisis realizado sobre la recolección de ideas previas, de test, de pos-test, de los montajes experimentales, del análisis de las entrevistas y

Desarrollando nociones cuánticas en la escuela secundaria las exposiciones por parte de los estudiantes ser sintetizada de la siguiente manera:

A. Resultados del pre-test

Este pre-test fue implementado con los estudiantes cuatro meses después de iniciada la propuesta. Con esta herramienta se pretendían conocer los pre-conceptos o concepciones alcanzadas por los estudiantes hasta el momento, sobre lo pequeño y la dualidad de la materia. Los resultados de algunas de las preguntas del pre-test se encuentran recopilados en las Tablas II-IV

TABLA II. Porcentaje de respuestas dadas a la pregunta *Desde el marco de la teoría Cuántica (De Dirac), un sistema es pequeño en sentido absoluto si:*

a. Es alterado significativamente por cualquier interacción	30%
b. Es alterado significativamente por la interacción más pequeña posible	40%
c. Se altera fácilmente cuando se interactúa con él	20%
d. No existen sistemas pequeños en sentido absoluto	10%

TABLA III. Porcentaje de respuestas dadas a la pregunta *Clasifique la siguiente lista de palabras según considere.*

	Continuo	Discreto	Dual	No sabe, no responde
Luz	50%		40%	10%
Ondas	20%	20%	50%	10%
Materia		40%	50%	10%
Energía	20%	40%	30%	10%

TABLA IV. Porcentaje de respuestas dadas a la pregunta *El comportamiento de un electrón puede ser considerado como*

Ondulatorio	40%
Corpuscular	10%
Ondulatorio-Corpuscular	30%
Ninguna de las anteriores	20%

B. Resultados del post-test

El post-test se implementó al finalizar la propuesta de trabajo con el fin de evidenciar si los estudiantes asimilaban las nociones cuánticas que se deseaban desarrollar. Los resultados de algunas de las preguntas del pos-test se encuentran recopilados en las Tablas V-VII

TABLA V. Porcentaje de respuestas dadas a la pregunta *Desde el marco de la teoría Cuántica (De Dirac), un sistema es pequeño en sentido absoluto si:*

a. Es alterado significativamente por cualquier interacción	10%
b. Es alterado significativamente por la interacción más pequeña posible	70%
c. Se altera fácilmente cuando se interactúa con él	10%
d. No existen sistemas pequeños en sentido absoluto	10%

TABLA VI. Porcentaje de respuestas dadas a la pregunta *Clasifique la siguiente lista de palabras según considere.*

	Continuo	Discreto (Discontinuo)	Dual	No sabe, no responde
Luz	30%	10%	60%	0%
Ondas	0%	30%	70%	0%
Materia	30%	0%	70%	0%
Energía	10%	10%	80%	0%

TABLA VII. Porcentaje de respuestas dadas a la pregunta *El comportamiento de un electrón puede ser considerado como*

Ondulatorio	30%
Corpuscular	0%
Ondulatorio-Corpuscular	70%
Ninguna de las anteriores	0%

C. Factor de concentración y ganancia

A partir de los resultados obtenidos con el pre-test y el pos-test, se calcularon los factores de concentración [12] y la ganancia de la metodología implementada [13]. El factor de concentración c es una función de la respuesta de los estudiantes a una pregunta, esta toma un valor en el intervalo $[0,1]$, la concentración entre $(0 < c < 0,2)$ es baja, para $(0,2 < c < 0,5)$ es media y para $(0,5 < c < 1)$ es alta; el factor c está dado por la siguiente ecuación [12]:

$$c = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m (n_i)^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right) \tag{2}$$

Donde m es el número de opciones a la respuesta, n_i es el número de personas que respondieron una de las opciones de la pregunta y N es el número total de estudiantes.

Con la información que se obtiene de la concentración y del score del pre-test y pos-test, se puede construir una gráfica “S-C” (Figura 2) El Score (S) está dado por el

número de estudiantes que respondieron bien a una pregunta, sobre el número total de estudiantes.

La gráfica “S-C” (Figura 2) permite estudiar visualmente los resultados; los estados iniciales y finales están representados con puntos rojos y azules respectivamente. Cada punto está marcado con un número que identifica la pregunta del test; estos puntos dan cuenta del resultado promedio de todos los estudiantes sobre una determinada pregunta.

Cabe aclarar que antes de iniciar las actividades propuestas, los estudiantes no tenían pre-conceptos de las nociones a trabajar desde la perspectiva cuántica, entendidos los pre-conceptos como concepciones que no han sido transformadas por la acción escolar, por consiguiente, el gráfico “S-C” (Figura 2) nos permite evaluar la aprehensión conceptual de los estudiantes en la instrucción, visualizando a su vez de qué manera fueron asimilando los conceptos tratados.

Para la realización de gráfico “S-C” (Figura 2), tomamos las 5 preguntas de selección múltiple que se presentaban en el pre-test y pos-test, adicional a estas, los test tenían preguntas abiertas y las situaciones físicas cuánticas mencionadas en la sección V, para que ellos las representaran utilizando la notación de Dirac.

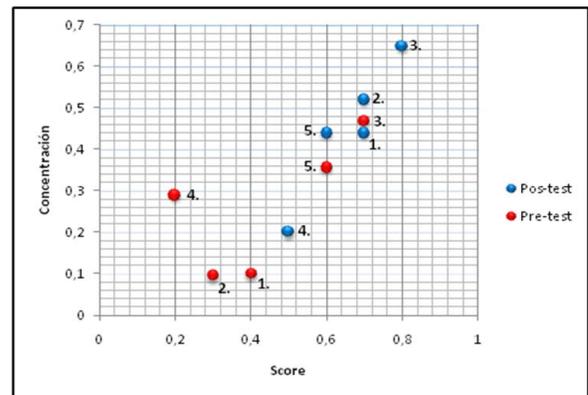


FIGURA 2. Combinación del score y el factor de concentración S-C del pre-test y el pos-test.

Las preguntas **1.** y **5.** estaban relacionadas con la idea de pequeño, la pregunta **2.** con la de dualidad de la materia, la pregunta **3.** con la noción de pequeño y de dualidad y la pregunta **4.** con la idea de superposición.

Así, se aprecia en el gráfico “S-C” (Figura 2) cómo, después de implementar la metodología, aumentó el score y la concentración alrededor de las respuestas correctas en casi todas las preguntas, a excepción del caso **4.**, en donde la concentración disminuyó un poco (casi que se mantuvo en el mismo nivel) a pesar del aumento del score, esto se debe a que, a diferencia de las otras preguntas, en el pre-test y el pos-test esta pregunta presentó una mayor dispersión en las respuestas por parte de los estudiantes. Se observa que en el pre-test la concentración fue en promedio del 26.2% mientras que en el pos-test fue de 44.98%, lo cual representa casi el doble de concentración hacia las

respuestas correctas, luego de la utilización de la metodología propuesta.

De este modo se obtuvo que para los casos 1. y 2., el aumento en la concentración fue significativo, ya que en promedio estuvo por el orden del 38.2%, esto favorecido por los bajos niveles de concentración durante el pre-test. Para los casos 3. y 5. el aumento en la concentración fue del 13.2% aproximadamente. Estos datos resultan ser en cierta medida alentadores, si se tiene en cuenta el número total de estudiantes con el que se trabajó.

Por otro lado, los datos numéricos de las Tablas V, VI y VII nos indicaron que al finalizar la instrucción, un 70% de los estudiantes asimilaron el comportamiento dual de la materia, en el marco de la teoría cuántica, y la definición de tamaño que se quería tratar. Los análisis de las preguntas abiertas de las exposiciones y de las entrevistas que se realizaron, mostraron que el 60% de los estudiantes reconocieron el principio de superposición de estados, y que tan sólo un 40% entiende la notación de Dirac y la utiliza para representar fenómenos físicos.

Finalmente, el grado de efectividad $\langle g \rangle$ de la estrategia didáctica y de la metodología implementada, se calculó con la siguiente expresión [13]:

$$\langle g \rangle \equiv \frac{\% \langle G \rangle}{\% \langle G \rangle_{\text{máx}}} = \frac{\% \langle s_f \rangle - \% \langle s_i \rangle}{100 - \% \langle s_i \rangle} \quad (3)$$

Donde $\langle G \rangle$ es el promedio de la variación del número de respuestas correctas de todos los estudiantes, y $\langle G \rangle_{\text{máx}}$ el promedio del número de respuestas incorrectas, llamado *ganancia máxima*. Entonces $\langle g \rangle$ es una comparación entre la ganancia y la ganancia máxima obtenida, siendo $\langle s_f \rangle$ y $\langle s_i \rangle$ los promedios iniciales y finales de respuestas correctas en el pre-test y el post-test respectivamente. Los valores obtenidos se encuentran en la Tabla VIII

TABLA VIII. Valores de los promedios iniciales y finales del post y pre-test, valores de la ganancia y la ganancia máxima encontrada.

$\% \langle s_i \rangle$	$\% \langle s_f \rangle$	$\% \langle G \rangle$	$\% \langle G_{\text{máx}} \rangle$	$\langle g \rangle$
2,2	3,9	1,7	3,6	0,47

De acuerdo con estos valores se construyó un gráfico que combina al grado de efectividad $\langle g \rangle$ y el promedio de las respuestas correctas en el pre-test (s_i) (Figura 3); los valores dentro del intervalo (0,0.30) indican un grado de efectividad bajo, los valores dentro del intervalo (0.30, 0.70) representan un grado de efectividad medio, mientras que los valores dentro del intervalo (0.70, 1) indican grados de efectividad altos.

Al observar el gráfico se evidencia que el grado de efectividad de la estrategia utilizada se encuentra dentro de los niveles medios, ya que se obtuvo un grado de efectividad del 47% con respecto al pre-test, lo cual corrobora los resultados presentados en el gráfico “S-C” (Figura 2)

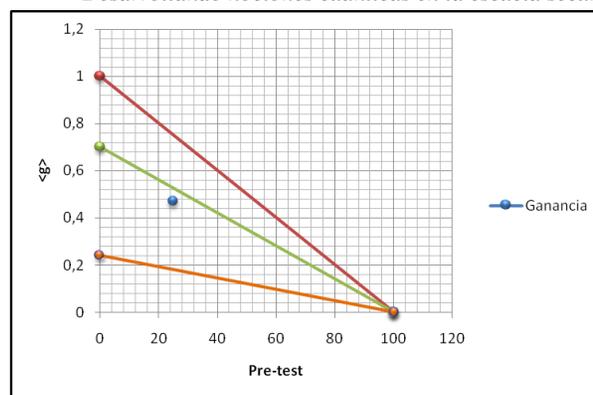


FIGURA 3. $\langle g \rangle$ vs $\langle \text{Pre-test} \rangle (s_i)$ Efectividad de la metodología desarrollada.

VIII. CONCLUSIONES

Esta experiencia nos permite suponer que es posible llevar al aula diferentes temas de la Física moderna y que es posible recurrir a procesos de pensamiento como la imaginación; dichos procesos les permiten a los estudiantes aceptar objetos de conocimiento que no están asociados a su experiencia sensible y debido a que no tienen explicaciones definitivas y parcializadas sobre los fenómenos físicos; su “inocencia” en relación a la formalidad del saber científico, les permite concebir posturas novedosas.

La inclusión de temas modernos en el aula, lleva al docente a ser un agente generador y constructor del conocimiento, que fomenta una cultura de investigación en el aula y aproxima la actualidad de las ciencias a los estudiantes y docentes mismos; conformándose (profesores y estudiantes) como miembros activos de la actividad científica, en tanto sean consientes de que el conocimiento no se encuentra terminado, sino en constante construcción. Lo cual implica reconocer la física moderna como una herramienta que al igual que la física clásica permite entender y comprender el mundo.

Puesto que el aprendizaje depende de las estructuras, los procesos de pensamiento y los intereses de los estudiantes, es necesario validar sus ideas y/o concepciones previas, para poder planificar la enseñanza y garantizar que esta desarrolle y cualifique al individuo.

Por otro lado, se debe tener un especial cuidado con la utilización de analogías, ya que estas pueden ocasionar malas interpretaciones entre los estudiantes, por lo que requieren de un uso planificado y cuidadoso, a fin de que ellas contribuyan significativamente en la comprensión de conceptos complejos como los que aborda la Teoría Cuántica.

Ya que este estudio se realizó con un grupo de estudiantes en particular, el material que se desee llevar a otro tipo de población debe ser re-diseñado y re-elaborado por los docentes al frente de esta tarea, debido a que cada población posee necesidades e intereses distintos, a los cuales, la estrategia aquí presentada debe obedecer. No obstante, creemos firmemente que los estudiantes de

secundaria tienen la capacidad suficiente para aprender temas de Física Moderna como los que aborda la Teoría Cuántica, contrario a lo que comúnmente se podría pensar.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los estudiantes que decidieron participar a lo largo del presente estudio: Aida Luz Flórez, Andrea Galeano, Christian Robles, Diego Acuña, Edward Prieto, Francisco Beltrán, Jessyca Gil, Juan Pulido, Karen López, Lorena Toquica, Manuel Mosquera, Nicolás Duarte, Paula Ruíz, Sthephanie Zanco, Sebastián Sierra, Santiago Quevedo. Al profesor Juan Manuel Salvador por motivarnos a realizar este tipo de trabajo, al profesor José Orlando Organista, por que sus ideas para tratar temas de la Mecánica Cuántica, permitieron llevar estas nociones a este nivel de formación, al profesor Germán Bautista por sus correcciones, a nuestro amigo Andrés Ordoñez por su ayuda en el montaje de los laboratorios, a la Universidad Pedagógica Nacional y al Instituto Pedagógico Nacional por facilitarnos las aulas y los laboratorios; finalmente un agradecimiento especial a la profesora Rusby Malagón, por que sin su incondicional apoyo este trabajo no se hubiera realizado.

REFERENCIAS

- [1] Fernández, P., Gonzales, M. y Solbes, M., *Evolución de las representaciones docentes en la física cuántica*, Enseñanza De Las Ciencias. Número extra, VII congreso (2005).
- [2] Otero, M., Fanaro, M. y Arlego, M. *Investigación y desarrollo de propuestas didácticas para la enseñanza de la Física en la Escuela Secundaria: Nociones Cuánticas*, Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias **4**, 58-74 (2009).
- [3] Moreira, M. y Greca, I., *Obstáculos representacionales mentales en el aprendizaje de Conceptos cuánticos, en Cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales* (UFRGS, Porto alegre, 2004).
- [4] Ostermann, F. y Moreira, M., *Física contemporánea en la escuela secundaria: Una experiencia en el aula involucrando formación de profesores*, Enseñanza De Las Ciencias **18**, 391-404 (2000).
- [5] Mora, C. y Herrera, D., *Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza*, Latin American Journal of Physics Education **3**, 72-86 (2009).

- [6] Dirac, P., *The Principles of Quantum Mechanics* (Oxford University Press, 4ta edición, Cambridge, 1976).
- [7] García, M y Ewert, J., *Introducción a la física Moderna* (Universidad Nacional de Colombia, 3ra edición, Bogotá, 2003).
- [8] Organista, O., Gómez, V., Jaimes, D y Rodríguez, J., *Una idea profunda en la comprensión del mundo físico: el principio de superposición de estados*, Latin American Journal of Physics Education **1**, 83-88 (2007).
- [9] Raviolo, A., *Modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química*, Educación Química **20**, 55-60 (2009).
- [10] Profesor Cuanto-Experimento de la doble ranura <<http://www.youtube.com/watch?v=vfkdzNN2VLo>>, consultado el 08 de mayo del 2009.
- [11] Malagon, R., *Diseño de una estrategia didáctica para el fortalecimiento de las habilidades de pensamiento investigativo en estudiantes universitarios de la licenciatura en informática de la universidad del Tolima de la modalidad a distancia*. Trabajo de investigación para la obtención del título de Magister en ciencias de la Educación con énfasis en Gerencia Educativa, Facultad de ciencias de la Educación, Universidad Libre de Colombia, Universidad de Las Tunas, Cuba (2009).
- [12] Bao, L. y Redish, E., *Concentration Analysis: A Quantitative Assessment of Student States*, American Journal of Physics **69**, 45-53 (2001).
- [13] Hake, R., *Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses*, American Journal of Physics **66**, 66-74 (1998).
- [14] Bautista, G., *Apuntes de Cuántica*. Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional, Pre-impresos No, 20, Bogotá-Colombia (2009).
- [15] Zubiría, M. y Zubiría, J., *Biografía del Pensamiento, Estrategias para el desarrollo de la inteligencia* (Editorial Presencia, 1ra edición, Bogotá, 1992).
- [16] Pérez, A., Moreno, H., Everth, M., Guevara, E., Hernández, J. y Organista, O., *Aproximación al estado del arte en la enseñanza de la teoría cuántica*, X Conferencia Inter Americana de Educación en Física, Medellín-Colombia (2009).
- [17] Organista, O., Linares, M. y Florián, C., *Algunas concepciones de la física moderna y sus implicaciones en la formación de profesores de física*, X Conferencia Inter Americana de Educación en Física, Medellín-Colombia (2009).
- [18] Feynman, R., Leighton, R., Sands, M., *Feynman Física volumen III: Mecánica Cuántica* (Addison Wesley Publishing Company, 6ta edición, Massachusetts, 2000).