



# La experimentación mental en la formación de maestros de ciencias: Una alternativa para la Enseñanza de la Física Moderna en la escuela

C. Macías<sup>a</sup>, L. S. Mejía<sup>b</sup>, Y. Aguilar<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Estudiante de Licenciatura en Matemáticas y Física. Facultad de Educación Universidad de Antioquia. Estudiante en formación del grupo de Investigación ECCE. Antioquia, Colombia.

<sup>b</sup> Doctora en Educación. Docente CEFA-Municipio de Medellín, Docente Facultad de Educación Universidad de Antioquia. Miembro grupo de Investigación Estudios Culturales sobre la Ciencia y su enseñanza-ECCE. Antioquia, Colombia.

<sup>c</sup> Magister en Educación Docente Facultad de Educación Universidad de Antioquia. Miembro grupo de Investigación Estudios Culturales sobre la Ciencia y su enseñanza-ECCE. Antioquia, Colombia.

## ARTICLE INFO

### Recibido:

### Aceptado:

### Palabras clave:

Experimentación mental.  
Formación de maestros.  
Enseñanza de la Física Moderna.

### E-mail addresses:

catamilena@gmail.com  
luzes1stel@gmail.com  
yirsena@gmail.com

ISSN 2007-9842

© 2014 Institute of Science Education.  
All rights reserved

## ABSTRACT

In the 20th century, the advancement of the science and the technology allowed having a new way of seeing the universe and nature, giving rise to what today is known as contemporary physics. However, at the school, the classical physics of Newton and Maxwell enjoys a privileged situation between teachers, and of course in the curriculum; which leads to modern physics is presented on the surface, in total contrast to the importance of scientific and technological development. Researches in science education recursively arises the need for knowledge of modern physics in high school. However, the contributions in relation to concepts taught and implement strategies are scarce and controversial, because some approaches reveal the difficulties in teaching strategies, teaching resources and experimental activities that are necessary to bring the concepts of modern physics to students. In addition to the inherent cognitive difficulty, they bring themselves some of their subjects; the situation posed one greater challenge for the master, who has been limited in these topics since its initial formation. Supported by the fact that mental experiments contributed greatly to the development of the theories of contemporary Physics, and that their authors themselves used them to bringing their more abstract ideas to whom no had a total familiarity with science. It is necessary to investigate how it can be possible to teach contemporary Physics, through mental experimentation, allowing the inclusion of Contemporary Physics in school, including historical, epistemological aspects and context. In this paper presents and discusses the mental experimentation around the theory of special relativity, as the centerpiece of a proposal of intervention that allow approaching modern physics in high school, through its implementation in teachers in training.

En el siglo XX, el avance de la tecnología y la ciencia permitió tener una nueva forma de ver el universo y su naturaleza, dando lugar a lo que hoy se conoce como Física Moderna. Sin embargo, en la escuela, la Física Clásica de Newton y Maxwell goza de un lugar privilegiado entre los docentes, y por supuesto en el currículo; lo que conlleva a que la Física Moderna sea presentada superficialmente, en total contraste con la importancia que tuvo para el desarrollo científico y tecnológico. En las investigaciones en Enseñanza de las Ciencias se plantea recurrentemente la necesidad de introducir conocimientos relativos a la Física Moderna en la escuela secundaria. Sin embargo, los aportes en relación a qué conceptos enseñar y qué estrategias implementar son escasos y controvertidos, porque algunos enfoques develan dificultades en las estrategias de enseñanza, los recursos didácticos y las actividades experimentales que son necesarias para aproximar los conceptos de la Física Moderna a los estudiantes, además de la dificultad cognitiva

---

inherente que traen consigo algunos de sus temas; situación que representan un reto mayor para el maestro, que desde su formación inicial ya se ha visto limitado en estas temáticas. Apoyados en el hecho de que los experimentos mentales contribuyeron en gran medida al desarrollo de las teorías de la Física Moderna, y a que sus mismos autores los utilizaban para acercar sus más abstractas ideas a quienes no tenían una total familiarización con la ciencia, pensamos que se hace necesario investigar cómo puede ser posible enseñar Física Moderna, a través de la experimentación mental, que permita la inclusión de la Física Moderna en la escuela, donde se incluyan aspectos epistemológicos, históricos y de contexto. En este trabajo se presenta y analiza la experimentación mental en torno a la Teoría de la Relatividad Especial, como el eje central de una propuesta de intervención que permite abordar la Física Moderna en la escuela secundaria, mediante su implementación con maestros en formación.

---

## I. INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XIX se creía que el desarrollo de la Física ya estaba totalmente terminado y que no se podía avanzar más en ella. Este pensamiento se debía a la existencia de grandes teorías como la mecánica newtoniana y la teoría electromagnética de Maxwell, que resolvían con una elegante sencillez los problemas conocidos en la época. Ya en el siglo XX, el avance de la tecnología y la ciencia permitió tener una nueva forma de ver el universo y su naturaleza, se apuntaba a la necesidad de reemplazar las teorías clásicas, por otras que consideraran un espacio y un tiempo que podían ser alterados y la consideración de un mundo subatómico, nuevos sistemas que no se comportaban como lo describían las presentes teorías. Comportamientos que conllevaron a la formulación de teorías que hoy conforman lo que conocemos como la Física Moderna.

Cuando nos referimos a la Física Moderna<sup>1</sup> estamos aludiendo a concepciones que transformaron la Ciencia y la Tecnología del siglo pasado. Un cambio paradigmático que revoluciona los mismos fundamentos de la Física en sus inicios, es decir, que en los fenómenos descritos por la Física durante el último siglo, se evidencia una aparente contradicción con lo que siempre fue lógico y en relación a lo que se observa descuidadamente en la naturaleza. La posibilidad de viajar en el tiempo, de cruzar a través de un agujero negro e ingresar a un universo paralelo, la equivalencia entre masa y energía, los límites de la velocidad de la luz; son temáticas que siempre han generado una curiosidad en los estudiantes (y en la comunidad en general), quienes escuchan de Física Moderna en todos los espacios, menos en su clase de Física.

Al respecto, algunos autores (como Aubrecht, 1986, Stannard, 1990, Kalmus, 1992, Swinbank, 1992) consideran en sus investigaciones algunas razones que favorecen la inclusión de la Física Moderna en la educación media, argumentando los siguientes hechos:

- Despierta la curiosidad de los estudiantes.
- Es una actividad humana cercana a los estudiantes.
- Existe una necesidad de que los-estudiantes tengan contacto con la Física que se construyó a partir de 1900.
- Motiva a los estudiantes a elecciones de carreras científicas.
- La Física Moderna presente en todos los espacios de la vida cotidiana menos en el aula (agujeros negros, universos paralelos, radiación cósmica de fondo).
- Las dificultades que puede tener la enseñanza de la Física Moderna no son muy diferentes a las mismas que se tienen de la Física Clásica.

Sin embargo, pese a la existencia de estas nuevas teorías, en la escuela, la Física Clásica newtoniana y maxwelliana, gozan de un lugar privilegiado entre los docentes, en las actividades experimentales, y por supuesto en el

---

<sup>1</sup>No existe consenso al respecto, siguiendo el uso de la corriente en la Filosofía de la Ciencia se denomina Física Contemporánea a la Física desarrollada durante el siglo XX, por lo que Física Moderna se refiere a la Física desarrollada durante la Edad Moderna (S. XVII e XVIII). Aunque algunos autores adoptan el criterio de usar "ciencia moderna" para la Física desarrollada en la Edad Moderna (S. XVII), y "Física Moderna" para la Mecánica Cuántica y la Relatividad, en respuesta de diferenciarla con la idea de Física Clásica. En lo que sigue adoptamos la denominación "Física Moderna".

currículo; esto se debe a que la enseñanza de la Física se reduce a los contenidos que se enmarcan en las teorías clásicas, relegando un espacio minúsculo en los últimos grados de la enseñanza y en el último período a la Física Moderna, “y eso si queda tiempo”.

En este sentido la pregunta es entonces, ¿por qué no se habla de Física Moderna en la escuela? Aunque las razones para la inclusión de la Física Moderna en la escuela, ya han sido bastante discutidas en el medio educativo, hay una carencia enorme en cómo abordarla, no sólo en los programas de formación de maestros de ciencias, sino también en la escuela. Se habla de una apatía frente a la llegada de la Física Moderna a la escuela por parte de los docentes. Y no es para más, son temas que al representar una revolución del pensamiento sobre el universo, presenta un sin fin de dificultades para su enseñanza y por ende para su aprendizaje.

Específicamente cabe mencionar algunas de estas dificultades como son: las estrategias de enseñanza, los recursos didácticos y las actividades experimentales que son necesarias para aproximar los conceptos de la Física Moderna a los estudiantes, sin mencionar la dificultad cognitiva inherente que traen consigo algunos de sus temas; situación que representan un reto mayor para el maestro, que desde su formación inicial ya se ha visto limitado en estas temáticas. Las razones pueden recaer primordialmente en la formación de maestros. Parece ser que los limitantes que ocasionan que la Física que se construyó desde el siglo pasado, sea esquiva a un tratamiento medianamente responsable en la escuela secundaria de hoy, responden a la limitada presencia de estas asignaturas en los programas de formación de los maestros: “... es que parecería que los docentes carecen de una comprensión profunda de los conceptos relevantes para interpretar correctamente la Teoría Especial de la Relatividad y sus implicaciones...” (Arriasecq & Greca, 2005, p.18).

Según Ostermann & Moreira, “Hay un consenso en que una mejor actuación de los profesores puede reflejar en el aprendizaje de los alumnos, contribuyendo a aumentar la calidad del proceso como un todo” (2000, p.395). Currículos y planes de estudio de los programas en formación de maestros, que son pobres en estas temáticas, le han cerrado las puertas a la Física Moderna en la escuela. Y es que la escasa preparación del maestro hace que éste no se sienta competente, ni seguro para abordar estas temáticas, además el currículo en la escuela tampoco se lo exige, sencillamente, se opta por no “ponerle más ruido al asunto” y se termina por omitir. O en el mejor de los casos se incluye de manera irresponsable y vaga con desconocimiento de aspectos epistemológicos e históricos, que en última instancia conduce al detrimento de la calidad de la enseñanza. Para Moreira (2000), hay una fuerte tendencia en las investigaciones en enseñanza de las ciencias a atacar el problema de la calidad de la enseñanza por la vía del profesor.

En ciencia y particularmente en Física Moderna, la posibilidad de recurrir a actividades experimentales ordinarias o de banco desde la escuela e inclusive en la educación superior, es realmente utópica. Con la escasez de recursos didácticos, material concreto, espacios físicos, equipos y recursos humanos, se hace necesario que se piense en una estrategia que permita superar estas dificultades técnicas. Una inclusión exitosa de la Física Moderna no sólo dependerá de la formación de maestros competentes y dispuestos, sino también en la posibilidad de incluir actividades experimentales que den cuenta del pensamiento, de la construcción del conocimiento y del quehacer científico.

El mismo Einstein encontró numerosas dificultades al comprobar experimentalmente la Teoría Especial de la Relatividad, estas dificultades le llevaron a adoptar posturas en las que no se admitía un único nivel de experimentación científica (Ortiz, 2008), sino que se reconocía el común carácter experimental de los experimentos mentales y ordinarios.

Además, “Einstein diseñó los experimentos mentales no sólo para el desarrollo de sus teorías sino también para comunicarlas al público” (Velentzas, Halkia y Skordoulis, 2007, p.354), lo que nos da la posibilidad de reconocer el verdadero potencial que tiene la experimentación mental al ser considerada en dos direcciones:

La primera, como una actividad experimental válida que contribuye a la generación de las teorías, porque camuflados entre ideas, o como argumentos, fueron los experimentos mentales quienes introdujeron lo que hoy conocemos como Física Moderna, dando paso a grandes teorías como la Relatividad y la Mecánica Cuántica.

En una segunda instancia, tal vez más importante, como una herramienta que, con ayuda del lenguaje facilita la interpretación y aproximación de los fenómenos físicos al público no especializado; específicamente de aquellos considerados como más abstractos.

Lo anterior evidencia entonces, una necesidad de reestructuración del currículo en la formación de maestros de Ciencias, focalizada en dos aspectos: el primero, en las temáticas disciplinares propias de la Física Moderna, y segundo, en experimentación mental. Pues es imperativo que, en la formación de maestros se incluya la experimentación mental orientada al abordaje de la Física Moderna, se reconozca su importancia histórica y el papel que han desempeñado en el desarrollo y la divulgación de la ciencia.

Conviene resaltar que aspectos que aún se consideran sin resolver en el medio y particularmente en Colombia, van desde la selección de las temáticas puntuales a ser incluidas, el diseño de estrategias didácticas, las metodologías a implementar, las concepciones alternativas que pueden favorecer e incluso orientar un cambio en el currículo de la escuela y en la Educación Superior. Con esta idea en mente, los experimentos mentales, pueden ser una estrategia didáctica que ayude a los maestros y maestros en formación a incluir de manera responsable la Física Moderna en la escuela.

Sabiendo entonces que hay razones relevantes para incluir la Física Moderna en el currículo escolar, y que en la literatura hay pocos estudios e investigaciones sobre este tema y menos aún en nuestro contexto colombiano; se hace necesario investigar cómo puede ser posible enseñar Física Moderna a los maestros en formación, para que permita la inclusión de la Física Moderna en la escuela, donde se incluyan aspectos epistemológicos, históricos y de contexto, con miras hacia una reestructuración del currículo en la formación de maestros.

## II. LA INVESTIGACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA MODERNA

En algunas escuelas de diversos países y en los cursos iniciales de las universidades, tradicionalmente se sigue un enfoque en el que es relevante la génesis histórica. Se comienza “por la vieja teoría cuántica, y algunos de los experimentos reveladores de la estructura cuántica de los sistemas macroscópicos, en los cuales se hace uso (y abuso) de analogías y modelos clásicos” (Greca y Moreira, 2004, p.27). Se considera entonces la radiación de cuerpo negro, pasando por los modelos atómicos iniciales hasta Bohr, y se estudia la ecuación de Schrödinger, según Greca *et al.* (2004) aunque la intención es familiarizar al estudiante con estas temáticas los resultados no son satisfactorios.

Otras investigaciones han mostrado que la escasa preparación matemática de los estudiantes hacen que el formalismo no se presente en forma integral, sino que se presentan resultados y algunas fórmulas aisladas, lo que se ha convertido en:

“...una de las mayores pérdidas de sentido que pueden mencionarse es que la constante de Planck se reduce a un factor de proporcionalidad en una fórmula que liga la energía con la frecuencia. No se analizan ni la magnitud de la constante, ni las consecuencias que ella tiene para los conceptos en las que está presente” (Fanaro, Arlego y Otero, 2007).

Dowrick, añade en cuanto al efecto de las fórmulas como resultados finales de desarrollos matemáticos complejos: “oscureciendo la Física con el Álgebra, dejando a los estudiantes la impresión que la mecánica cuántica se logra comprender más a medida que más se dominan las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales” (1997, p.75). Es claro que el objetivo inicial de la enseñanza de la Física Moderna no es el de omitir la importancia de los fenómenos o reducirlos a fórmulas. Investigaciones alternativas como las Greca y Moreira (2001) proponen evitar que los estudiantes asocien y relacionen conceptos cuánticos con conceptos clásicos, pero ya el estudio sugiere que no hay una obstaculización de los aprendizajes significativos debido a los conceptos previos que se tienen desde la Física Clásica (por ejemplo la mecánica ondulatoria).

Sumado a lo anterior, algunas investigaciones (Strnad, 1981) apuntan a la necesidad de omitir en el lenguaje expresiones como ‘doble-naturaleza’ de los sistemas cuánticos y terminologías como ‘onda-partícula’, o ‘los electrones

se comportan como ondas' según Strnad, los estudiantes al intentar unir ambos conceptos se confundían, en vez de conceptualizar que se trata de sistemas cuánticos con características particulares. Por otro lado, en el Reino Unido entre el 2003 y el 2004, a través de un proyecto llamado 'Advancing Physics', se ha propuesto un currículo de Física para los últimos dos años de la escuela secundaria (con estudiantes entre 16 años), e intentan dar una imagen de la Física actual (Fanaro, *et al.*, 2007).

## II.1 La Física Moderna en la escuela y en los procesos de formación de maestros

Las intervenciones del maestro en el aula clase y los procesos de formación inicial de los mismos, son objetos de estudio de un sinnúmero de investigaciones. Según Rezende (2006), (citado por Krey y Moreira, 2009) los maestros en la escuela tienen una marcada tendencia a reproducir la experiencia adquirida en su formación inicial. Es decir, hay una estrecha relación entre la formación inicial de los futuros maestros y su práctica docente; afirmación que corroborada por Krey y Moreira (2009), cuando consideran que los conceptos adquiridos significativamente, en experiencias didácticas vividas en situaciones potencialmente significativas durante la formación inicial del docente, influyen en la elección de los contenidos y la metodología que trabajará el futuro maestro en su práctica profesional.

Ahora es importante resaltar aquí que algunas de las causas por las cuales la Física Moderna no se enseña en escuela; atañen específicamente a problemáticas relacionadas con los programas de formación de maestros. Como por ejemplo, el desconocimiento de los futuros maestros, del conocimiento disciplinar relacionado específicamente con los conceptos cuánticos, la complejidad matemática involucrada, la competencia lograda en la formación del profesor, y las propuestas en los libros de texto (Fanaro, *et al.*, 2007). Con respecto al desconocimiento de los conceptos cuánticos hay una fuerte tendencia a creer que en comparación con la Física Clásica, la Mecánica Cuántica es demasiado abstracta y que no hay forma de hacer un paralelo entre ella y la vida cotidiana. Así, el sólo hecho de que el mundo subatómico no se comporte como naturalmente uno esperaría, lo convierte en un tema que debe incluirse en la escuela. Además, la Física Clásica también ha recibido los calificativos de "difícil y abstracta".

La complejidad matemática hace referencia a la concepción de la Ciencia y la Física que se tiene: sólo es posible hablar de Física Moderna bajo el formalismo y el rigor matemático. En los primeros intentos por incluir la Física Moderna en la escuela, un formalismo matemático que desborde en reduccionismos de fórmulas y ecuaciones, dejaría de lado el significado propio de los fenómenos que se tratan, desalentando a docentes y a estudiantes.

En cuanto a la competencia de los maestros, según la investigación de González, Fernández y Solbes (2000), los maestros señalan haber recibido durante su formación una muy superficial introducción a la Física Moderna, cuyos temas corresponden al índice de un libro introductorio, destacando así la esencia 'informativa' de su formación y la desconexión histórica y epistemológica entre los tópicos. Estos investigadores consideran que, los maestros con esta preparación tienen visiones reduccionistas y tienden a mezclar los conceptos cuánticos con ideas clásicas. Y concluyen con que hay una seria limitación en los procesos de enseñanza.

Por su parte, los libros de texto son la fuente más cercana que tienen los maestros para preparar sus clases; pero es realmente significativo que los docentes declaren usar el mismo texto tanto para la preparación de sus clases y como texto guía de sus estudiantes (Pérez y Solbes, 2003). Es común entre los profesores en ejercicio, el no hacer uso de textos de un nivel superior para la preparación de las clases. En otras palabras, el maestro de la escuela, no ha tenido la oportunidad de reflexionar sobre cuáles son los conceptos más importantes para comprender la teoría y profundizar en aspectos históricos, epistemológicos, que encierran las dificultades propias de los científicos y las necesidades que condujeron al desarrollo de estas teorías (Arriasseq, *et al.*, 2005). Es muy probable que el maestro 'siga' el esquema presentado por el texto, y que este a su vez presente las dificultades de abstracción y reduccionismo matemático mencionadas anteriormente.

## III. LA EXPERIMENTACIÓN MENTAL

Los experimentos mentales son una parte integral del pensamiento científico, constituyen una herramienta conceptual para los científicos que estudian la Física en el mundo. En la educación en ciencias es de suma importancia para familiarizar a los estudiantes con ella y con su papel como científicos. De esta forma, los estudiantes pueden vincularse con una de las herramientas claves del pensamiento científico, y entender mejor los conceptos abstractos que presenta la Física del siglo XX (Velentzas, *et al.*, 2007).

Hans Christian Orsted (Orsted, 1811, citado por Brendel, 2003) fue el primero que utilizó el término ‘experimento mental’ para referirse a una fuente especial de conocimiento. Pero quien lo acuñó formalmente fue Ernst Mach (1897), (citado por Brendel, 2003), quien lo utiliza en un sentido muy amplio y lo asocia a cualquier tipo de experiencia mental como soñar, alucinar, escribir novelas o imaginar utopías.

Esta concepción tan general de los experimentos mentales no refleja el hecho de que en efecto, ellos constituyen un cierto tipo de experimento, además de que son una precondition necesaria para planear y ejecutar un experimento real<sup>2</sup>. Aunque se trata de una investigación imaginaria, que no necesariamente debe ser ejecutada en el mundo físico real -ya sea porque no es necesario o porque no se puede-, el experimento mental al igual que el experimento real, está supeditado a ciertas condiciones. El estudio de la dependencia funcional entre las variables y el control en el cambio de datos, así como las suposiciones y teorías predecesoras, son algunas de las exigencias teóricas que involucran la actividad experimental en general (Brendel, 2003).

Los experimentos mentales jugaron un papel muy importante en la revolución científica durante los siglos XVII a XX y aún en la Física Moderna siguen desempeñando una labor igualmente destacable “esto se debe, principalmente, a que los regímenes de los experimentos en la Física Contemporánea son inalcanzables, tales como la escala de Planck y el interior de un agujero negro” (Reiner & Burko, 2003, p.365). Ejemplos bien conocidos de experimentación mental en Física son: la caída de los cuerpos de Galileo, el cañón y el cubo de Newton, el ascensor de Einstein, el demonio de Maxwell, el gato de Schrödinger, el viajero de Einstein, la palanca de Arquímedes, entre otros. Sugieren que las leyes fundamentales de la Física surgieron no del mundo físico sino de la mente (Shepard, 2008).

Los experimentos mentales fueron utilizados por los científicos con diversos propósitos: formulación de innovadoras teorías, establecimiento de contradicciones con las teorías existentes, modificación de nuevas teorías e incluso, sustitución de antiguas teorías. Según Popper (1959/1999), (citado por Velentzas *et al.*, 2007) los posibles usos de los experimentos mentales son:

- Crítico: critica las teorías existentes.
- Heurístico: conduce a innovaciones.
- Apologético: argumentos para defender una teoría.

Brown (1991 citado por Velentzas *et al.*, 2007) propone la siguiente clasificación:

- a) Destructivas: destruyen o al menos plantean serios problemas a una teoría (por ejemplo, gato de Schrödinger).
- b) constructivas: su objetivo es establecer un resultado positivo y se divide en las siguientes categorías:
  - Mediadora: facilitan una conclusión sacada de un procedimiento específico, o de una teoría bien articulada (por ejemplo, el demonio de Maxwell).
  - Conjeturales: su punto es establecer algunos fenómenos; los científicos hacen la hipótesis de la teoría para explicar el fenómeno (el cubo de Newton).
  - Directos: no parten de una teoría pero si llegan a una (planos inclinados de Stevin).
- c) Platónicos: son destructivos y constructivos directos a la vez (caída de los cuerpos de Galileo).

La investigación en enseñanza de las ciencias sobre el uso de la experimentación mental en la escuela ha puesto de manifiesto que los resultados de aprendizaje de los estudiantes son positivos cuando los experimentos mentales son utilizados por el docente como base para el diseño y la organización de proyectos de los estudiantes (Lattery, 2001).

Además, los profesores consideran que la experimentación mental es indispensable, cuando enseñan leyes de la Física que implican formulaciones abstractas y concisas (por ejemplo, la Teoría de la relatividad especial), porque

---

<sup>2</sup>En este contexto de significación, el experimento real es entendido como aquel experimento físico que supone la obtención de datos en un laboratorio de banco.

sienten que ayudan a darles alguna oportunidad de construir puentes entre el conocimiento de los estudiantes y la experiencia cotidiana, o entre los conceptos nuevos o modificados y los principios que son aprendidos. Reconocen también que son potentes herramientas educativas para que los estudiantes usen su imaginación que "es estructurada, orientada a objetivos, con base en experiencia previa y coherencia interna (Helm, Gilbert, Watts, 1985).

Alrededor de lo ya expuesto, es pertinente considerar los siguientes cuestionamientos:

¿Qué tipo de actividad experimental es la más conveniente para abordar la Física Moderna en la formación de maestros, teniendo en cuenta las dificultades y ventajas que ella misma encierra? ¿Cómo enseñar Física Moderna a los maestros de ciencias en formación, a través de la experimentación mental, que permita la inclusión en la escuela, fundamentada en aspectos epistemológicos, históricos y de contexto? ¿Qué implicaciones pedagógicas y didácticas se derivan de la implementación de la propuesta de intervención sobre la enseñanza de la Física Moderna, en la que se privilegia la experimentación mental?

Lo que nos conduciría a analizar el uso de la experimentación mental en la enseñanza de la moderna en la formación de maestros sería: proponer estrategias de enseñanza de la Física Moderna para la formación de maestros de Ciencias, en las que se privilegie la experimentación mental, donde además, se incluyan aspectos epistemológicos, históricos y de contexto; identificar los experimentos mentales que permiten el abordaje de la Física Moderna en la formación de maestros, en los que se tenga en cuenta las dificultades y ventajas que ella misma encierra para su enseñanza en la escuela.

#### IV. DISEÑO METODOLÓGICO

La investigación se inscribe en el paradigma cualitativo, en la que se privilegia el estudio de caso, que según Stake (1998) es un enfoque metodológico cuya intención es comprender un fenómeno en detalle a partir de descripciones e interpretaciones que centren la atención en lo que acontece, para describirlo e interpretarlo de forma detallada. Se privilegiarán estrategias de recolección y organización de información, que permitan el contacto directo con los participantes, como: las entrevistas semiestructuradas y los protocolos de observación, acompañados de guías de trabajos individuales y grupales, de plenarias grupales, y de actividades didácticas experimentales.

La investigación se realizará en cinco fases: la fase de construcción del estado del arte y de la fundamentación teórica, el diseño e implementación de la propuesta pedagógica, la sistematización de resultados y la construcción del informe final.

En esta investigación se pretende diseñar una propuesta pedagógica, dirigida a estudiantes en formación, futuros maestros de Física en la educación básica secundaria y media. La propuesta busca privilegiar la experimentación mental como alternativa para introducir los principios fundamentales de la Teoría Especial de la Relatividad. Se focaliza en el análisis la prevalencia de aspectos epistemológicos, históricos y de contexto, que faciliten la comprensión orientada hacia el fenómeno físico, la construcción del conocimiento y los conceptos; evitando el formalismo matemático o abstracciones teórico matemáticas que inhiban el aprendizaje de las ciencias.

Específicamente se han considerado dos categorías iniciales, a partir de las cuales fue posible la selección de temáticas y el diseño de propuesta pedagógica.

La primera categoría: el *Papel de la experimentación mental en la enseñanza de la Física Moderna*, vincula aquellos aspectos o estrategias didácticas que tiene la experimentación mental con la enseñanza de la Física Moderna, al considerar principalmente *El experimento mental como estrategia de aula motivadora* y como *generador de explicaciones en el aula*. Permitted establecer una relación entre la experimentación mental y la enseñanza de las ciencias, particularmente de la Física Moderna.

La segunda categoría de análisis: *La experimentación mental y la construcción de teorías científicas*, aboga por el reconocimiento de la actividad científica como una construcción social, siendo la experimentación mental una de las

herramientas que el hombre de ciencia ha utilizado para este propósito; por lo que hay un reconocimiento de la *Experimentación mental como actividad científica*.

Una de estas teorías que será estudiada, posibilitó establecer las conexiones entre la *Experimentación mental y la Teoría Especial de la Relatividad* con el quehacer científico, y la forma como la ciencia es construida. El análisis de estas categorías se originará a partir de la información que se recoja durante las cinco sesiones que reúne la intervención.

A continuación, se presenta la propuesta pedagógica, las categorías y subcategorías de análisis, así como el desarrollo de las sesiones y las estrategias de enseñanza a ser utilizados en la intervención.

#### IV. LA EXPERIMENTACIÓN MENTAL EN LA TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD. UNA PROPUESTA PEDAGÓGICA PARA LA ESCUELA

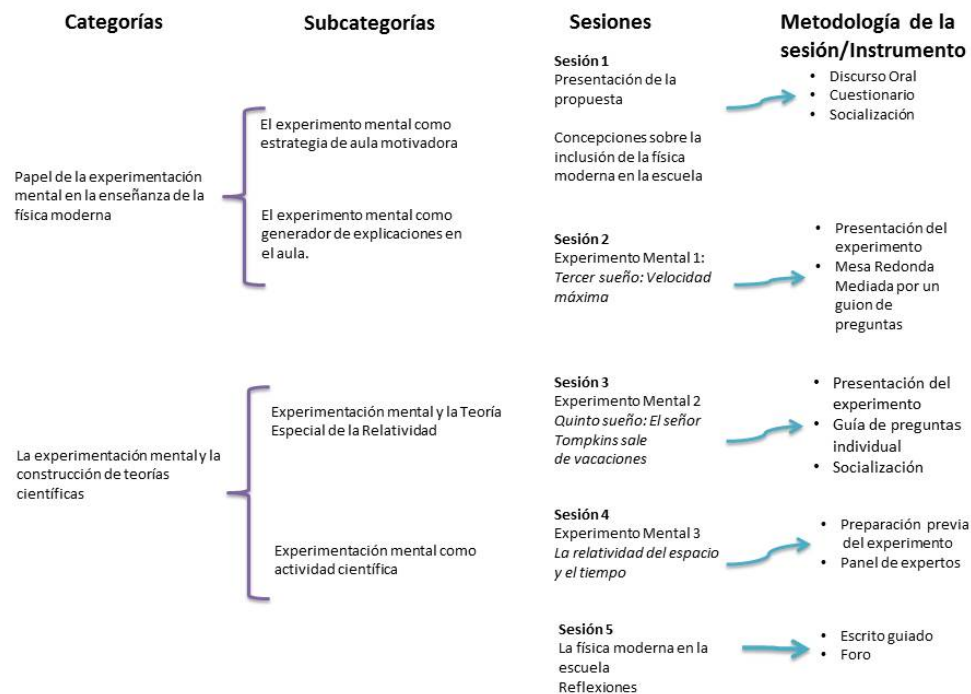


FIGURA 1. Categorías subcategorías de análisis-propuesta de intervención-estrategias de enseñanza.

En la primera sesión, además de hacer la presentación de la propuesta, nos interesa saber la concepción que tienen los maestros en formación acerca de la inclusión de la Física Moderna en la escuela. Es necesario saber qué reflexiones han hecho en torno a cuál es la forma más adecuada de abordar las temáticas, y cuáles temáticas; si se sienten o no, competentes para enfrentar un aula de clase con propiedad y dominios epistemológicos e históricos; así como también, algunos otros aspectos que se vinculen con sus concepciones que no estén registrados en el estado del arte. En esta sesión se implementará un cuestionario individual con las indagaciones ya expuestas, y a continuación se realizará una socialización, donde todos los participantes amplíen las reflexiones suscitadas a partir de las preguntas del cuestionario.

En la segunda sesión, se presenta una adaptación a manera de experimentación mental de *Tercer sueño: velocidad máxima*<sup>3</sup>, cuyo propósito central es analizar los postulados de la relatividad especial, identificar las implicaciones físicas y consecuencias metodológicas de tener un límite de velocidad de la luz, y unas invariantes leyes físicas según los observadores. Al poder variar el límite de velocidad máxima para la luz y poder analizar situaciones extremas, hacemos uso de las ventajas de la experimentación mental y se convierte en un aliado en el aula de clase que potencializa las construcciones epistémicas. En esta sesión, los participantes deberán no sólo responder por la aprehensión de los contenidos, sino también, por la experimentación mental como estrategia del aula, a través de su participación en una mesa redonda guiada por unas preguntas que demanden estos aspectos.

En la tercera sesión, la actividad experimental está basada en *Quinto sueño: el señor Tompkins sale de vacaciones*<sup>4</sup>.

Aquí se ilustran las consecuencias directas de la relatividad especial, es decir, la contracción de longitudes y la dilatación del tiempo. La experimentación permite que los estudiantes puedan explorar y someter a diferentes condiciones y considerar sus respectivos efectos una serie de situaciones, que convergerán en una comprensión cualitativa del fenómeno como tal. Es importante considerar además, que en esta sesión los estudiantes no se verán involucrados con las transformaciones de Lorentz a manera de reduccionismo matemático, sino que por el contrario se propician las reflexiones que posibilitan una fijación dirigida hacia el fenómeno y no hacia las ecuaciones. Los participantes, deberán responder un cuestionario dirigido hacia el análisis disciplinar alcanzado y hacia la pertinencia de la experimentación mental.

Para la cuarta sesión, los participantes previamente realizarán individualmente la actividad experimental con su respectivo análisis y con la rigurosidad con la que se ha trabajado en las sesiones anteriores. *La relatividad del espacio y el tiempo* es la actividad experimental que recogerá los planteamientos hechos en los primeros experimentos, pondrá en escena situaciones de adición de velocidades imposibles, introducirá el concepto de masa relativista y dará herramientas para deducir las transformaciones de Lorentz. Durante el encuentro, en un ‘panel de expertos’ se revisarán las conclusiones o construcciones que se develaron al realizar el experimento, y se orientará por medio de imágenes una experiencia mental que posibilite la deducción de las transformaciones de Lorentz.

Por último, en la quinta sesión, se busca indagar por las concepciones que tienen los maestros en formación después de la intervención. Para esto, los participantes deberán hacer un escrito que encierre de manera global su posición como maestro de ciencia en relación con su práctica pedagógica y la inclusión de la Física Moderna en la escuela. Luego, cada participante expone su producción, dando lugar a intervenciones de sus compañeros a manera de foro, argumentando y apoyando su opinión y la de los demás participantes. Cabe resaltar que en este punto, se espera una transformación en las argumentaciones realizadas en la primera sesión, no solo en lo disciplinar, sino también orientadas hacia la aceptación de incluir la Física Moderna en las prácticas docentes.

También es necesario analizar durante todo el proceso de la implementación de la intervención, la apropiación de las temáticas y la pertinencia de la experimentación mental en el aula. Por lo que las expresiones y las manifestaciones de los participantes frente al uso de la experimentación mental y en relación con la temática propiamente, deben ser señaladas con especial detalle para su posterior análisis.

Es de notar que las actividades experimentales no constituyen un complemento a una teoría vista o hecha con anterioridad o posterioridad, responden al hecho de que la misma actividad experimental, con su análisis y socialización, propicie la construcción de los consensos que conllevan a la generación del conocimiento. Pensar la actividad experimental dentro de la Física pareciera ser algo trivial, que su planeación, preparación y ejecución no exigen ningún esfuerzo, es decir, al ser la Física una ciencia en esencia experimental, llevar a cabo una actividad experimental debería resultar algo sencillo, que no presente mayores retos a los maestros de Física en la escuela.

Las actividades experimentales propuestas tienen la característica de que por sí solas pueden dar cuenta de la enseñanza y por ende, del aprendizaje de una temática, sin que tengan una relación de independencia o complemento

---

<sup>3</sup> Gamow, G. (1997). *El país de las maravillas*. Fondo de Cultura Económica.

con lo teórico. Es decir, que ésta no necesita de un trabajo previo ni posterior de conceptualización teórica en el aula, sino que en sí misma procure la construcción de un conocimiento y genere los estadios para una conceptualización teórica.

La propuesta también permite pensar en los aspectos históricos y epistemológicos, recoge las ideas de cómo los hombres de ciencia han abordado el trabajo experimental, cómo los unos y los otros han obtenido resultados, y que desde esos enfoques se puede pensar en una actividad experimental que se aleje del reduccionismo básico de lo demostrativo.

Encierra como propósito intrínseco (más que alcanzar ciertas competencias en un aprendizaje de un campo del saber particular), potenciar en el estudiante las habilidades propias de un científico, en tanto que pueda identificar, clasificar, observar, y predecir las particularidades de cualquier fenómeno que le encierre; respondiendo más a un proceso de construcción social y científica que a un resultado o producto terminado.

## VI. CONCLUSIONES

La propuesta que aquí se presenta está dirigida a maestros en formación, y surge como una alternativa para incluir la Física Moderna, aludiendo con esto a que, una mejor preparación y apropiación de estas temáticas durante el pregrado contribuya a un mejor ejercicio en su futura práctica pedagógica. Lo que finalmente, contribuirá a desarrollar competencias que le permitan hacer una inclusión significativa de la Física Moderna en la escuela.

La implementación de la propuesta que presentamos aquí será próximamente ejecutada en la educación superior con estudiantes del curso Seminario de Física Moderna, de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia; previa construcción y revisión de una secuencia didáctica que estamos estructurando, y que sigue los lineamientos aquí bosquejados. En ella, analizamos y discutimos los aspectos didácticos y cognitivos dirigidos a promover el aprendizaje significativo de los conceptos involucrados, así como, las implicaciones pedagógicas y didácticas que se derivan de la implementación de la propuesta de intervención sobre la enseñanza de la Física Moderna, en la que se privilegia la experimentación mental. En esa dirección se dirigen nuestras investigaciones actuales.

## AGRADECIMIENTOS

El presente artículo hace parte de la investigación “La experimentación en la Formación de Maestros de Ciencias”, liderado por el grupo de investigación Estudios culturales sobre la Ciencia y su Enseñanza-ECCE, y con el apoyo financiero de: Comité para el Desarrollo de la Investigación (CODI), Universidad de Antioquia; Facultad de Educación y Bienestar Universitario, Universidad de Antioquia; Vicerrectoría de Extensión, Universidad de Antioquia; y Relaciones Internacionales, Universidad de Antioquia.

Hace parte de los proyectos de pequeña cuantía financiados por el CODI para estudiantes de pregrado la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia.

## REFERENCIAS

Aubrecht, G. J. (1986). Report on the conference on the teaching of modern physics. *The Physics Teacher*, 24(9), 540-546.

Stannard, R. (1990). Modern physics for the young. *Physics Education*, 25(3), 133.

- Kalmus, P. I. (1992). Particle physics at A-level-the universities' viewpoint. *Physics Education*, 27(2), 62-64.
- Swinbank, E. (1992). Particle Physics: a new course for schools and colleges. *Physics Education*, 27(2), 87-91.
- Arriasecq, I. & Greca I. M. (2005). Análisis de aspectos relevantes para el abordaje de la Teoría de la relatividad especial en los últimos años de la enseñanza media desde una perspectiva contextualizada y epistemológicamente. *Revista de Enseñanza de la Física*, 18(1), 17-24.
- Ostermann, F. & Moreira, M. A. (2000). Física contemporánea en la escuela secundaria: Una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Enseñanza de las ciencias*, 18(3), 391-404.
- Ortiz de L. C. (2008). Lo real y lo virtual, 100 años después de Einstein: ¿Vigencia del experimento mental en Mach o vuelta al Kant postcrítico? (Un debate entre Sorensen y Kuhne). *Ontology Studies*, 8, 219-231.
- Velentzas, A., Halkia, K. & Skordoulis, C. (2007). Thought experiments in the Theory of Relativity and in Quantum Mechanics: Their Presence in textbooks and in popular science books. *Science & Education*, 16, 353-370.
- Greca, I. & Moreira, M. A. (2004). Obstáculos representacionales mentales en el aprendizaje de conceptos cuánticos. En: *Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación*. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, pp. 26-40.
- Dowrick, N. J. (1997). Feynman's sum-over-histories in elementary quantum mechanics. *European Journal of Physics*, 18, 75-78.
- Greca, I. & Moreira, M. A. (2001). Uma proposta para o Ensino de Mecânica Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23(4), 444-457.
- Stannard, R. (1990). Modern physics for the young. *Physics Education*, 25(3), 133.
- Fanaro, M., Arlego M., Otero, R. (2007). El método de caminos múltiples de Feynman como referencia para introducir los conceptos fundamentales de la mecánica cuántica en la escuela secundaria. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(2), 233-260.
- Krey, I. & Moreira, M. A. (2009). Implementación y evaluación de una propuesta de enseñanza para el tópico de física de partículas en una disciplina de estructura de la materia basada en la teoría de campos conceptuales de Vergnaud. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), 812-833.
- González, E., Fernández, P. & Solbes, J. (2000). *Dificultades de docentes de ciencia en la conceptualización de temas de Física actual*. Tomo 1. V Simposio de Investigación en Educación en Física, Argentina. pp. 138-147.
- Pérez, H. & Solbes, J. (2003). Algunos problemas en la enseñanza de la relatividad. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 135-146.
- Brendel, E. (2003). Pompas de intuición y el uso adecuado de los experimentos mentales. *Ideas y Valores*, 123, 3-23.
- Reiner, M. & Burko, L. M. (2003). On the limitations of thought experiments in Physics and the consequences for Physics Education. *Science & Education*, 12, 365-385.

Lattery, M. (2001). Thought experiments in Physics Education: a simple and practical example. *Science & Education*, 10(5), 485-492.

Helm, H., Gilbert, J. & Watts, D. M. (1985). Thought experiments and physics education. *Physics Education*, 20, 211-217.

Stake, R. E. (1998). Investigación con estudio de casos. Madrid: Ediciones Morata.