

**La experimentación mental en la formación de maestros de ciencias: Una alternativa para  
la enseñanza de la física moderna en la escuela**

**Trabajo de grado para optar por el título de Licenciada en Matemáticas y Física**

**Catalina Milena Macías Foronda**

**Asesora**

**Doctora Luz Stella Mejía Aristizábal**

**Universidad de Antioquia**

**Facultad de Educación**

**Licenciatura en Matemáticas y Física**

**Medellín**

**2014**

### **Dedicatoria**

A Alexis por ser mi polo a Tierra

### **Agradecimientos**

A mi asesora, la profesora Luz Stella Mejía Aristizábal por la orientación, confianza y apoyo que me brindó durante la elaboración y ejecución de esta investigación.

Al grupo de Investigación Grupo Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza – ECCE por darme cabida en su proyecto de Investigación como estudiante en formación.

A los maestros en formación y al profesor Tiberio Restrepo Cadavid del curso Taller de Física del semestre 2014-1 que con esfuerzo y dedicación participaron en la investigación sobre la enseñanza de la física moderna y la experimentación mental, sin su disposición no habría sido posible la realización de la misma.

Al comité de carrera de la Licenciatura en Matemáticas y Física por poner a disposición los recursos del pregrado para la realización del proyecto.

Al CIEP por su programa de financiación para pequeños proyectos de estudiantes de pregrado.

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	5
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	8
CAPÍTULO 2. MARCO REFERENCIAL .....	15
2.1. La Investigación en la Enseñanza de la Física Moderna .....	15
2.2. La Física Moderna en la Escuela y la Formación de Maestros. ....	18
2.3 La Experimentación Mental .....	21
CAPÍTULO 3. PROPÓSITOS GENERAL Y ESPECÍFICOS.....	25
3.1. Propósito General.....	25
3.2. Propósitos específicos .....	25
CAPITULO 4. DISEÑO METODOLÓGICO .....	26
4.1. Enfoque y tipo de estudio.....	26
4.2. Participantes y criterios de selección.....	27
4.3. Estrategias para la recolección de la información .....	27
4.4. Procedimiento de análisis.....	32
4.5. Fases o momentos de la investigación.....	33
4.6. Categorías y Subcategorías .....	35
4.7. Criterios de credibilidad .....	38
4.8. Compromiso ético.....	39
CAPÍTULO 5. HALLAZGOS Y ANÁLISIS .....	40
5.1. La enseñanza de la física moderna .....	40
5.1.1 Maestros en formación y la enseñanza de la física moderna .....	42
5.1.2. Dificultades en la enseñanza de la física moderna: Un asunto de la formación de docentes ...	46
5.1.3. La licenciatura en matemáticas y Física y su aporte en Física Moderna.....	47
5.2. La experimentación mental .....	51
5.2.1 El papel del experimento y las imágenes de ciencia.....	51
5.2.2. La experimentación mental y el experimento real .....	54
5.3. El experimento mental como estrategia de enseñanza.....	57
5.3.1. El experimento mental como estrategia de aula en la física moderna.....	58
5.3.2. El experimento mental como motivador y generador de preguntas en el aula .....	63
CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	67
Sobre la Enseñanza de la Física Moderna .....	67
Con respecto a la Licenciatura en Matemáticas y Física .....	68

La experimentación Mental .....	70
Referencias .....	73
Apéndices .....	75
Apéndice A. ....	75
Cuestionario de la sesión 1.....	75
Apéndice B. ....	76
Experimento Mental: ¿Cómo se vería el mundo si yo viajara en un rayo de luz? .....	76
Apéndice C. ....	80
Cuestionario de la sesión 2.....	80
Apéndice D. ....	81
Experimento Mental: Una Ciudad muy Extraña .....	81
Apéndice E. ....	86
Cuestionario de la sesión 3.....	86
Apéndice F.....	87
Protocolo Ético .....	87

## Introducción

En el siglo XX, el avance de la tecnología y la ciencia permitió tener una nueva forma de interpretar 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.

Sabiendo que los experimentos mentales contribuyeron en gran medida al desarrollo de las teorías de la física moderna, y a que constituyen una estrategia que permite aproximar a las personas hacia las ideas abstractas de la ciencia. Se considera importante preguntarse por:

¿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 el primer capítulo se describe las dificultades alrededor de la enseñanza de la física moderna, primero destacando su importancia y la relevancia que ésta tiene para la sociedad, y finalmente se evidencia la carencia en estrategias didácticas o actividades que permitan su abordaje en la escuela secundaria.

El marco referencial o teórico se ubica en el segundo capítulo, aquí se hace un recorrido sobre las investigaciones en enseñanza de la física moderna, cómo se ha comportado la física moderna en la escuela en relación a la formación de maestros y finalmente, se presenta las diversas definiciones y clasificaciones sobre la experimentación mental que será el tema central de la propuesta pedagógica que se plantea.

Hacia el capítulo 3 se encontrarán los propósitos generales y específicos que recogen las preguntas que desde el planteamiento del problema venían siendo señaladas. Ya en el capítulo 4 se describe la metodología de la investigación, describiendo todos los momentos de ésta, el tipo de estudio, los participantes, las estrategias de recolección, el procedimiento de análisis, las categorías y subcategorías, los criterios de credibilidad y el compromiso ético. Todo esto con la finalidad de dejar claro la naturaleza de esta investigación.

El capítulo 5 es uno de los más importantes de este trabajo, en él se relata los hallazgos que luego de hacer la implementación y el análisis de la información que arroja la investigación, se describen cada una de las categorías con sus subcategorías y las evidencias (aportes literales de los participantes) para la sustentación de lo que allí se afirma.

Las conclusiones se encuentran en el capítulo 6 como una gran recopilación de lo descrito en los anteriores capítulos, también se hace una serie de recomendaciones que surgen como necesidades de los participantes en relación a su formación, son aportes claros y concisos que van en beneficio del mejoramiento de la enseñanza de la física moderna.

Todo lo anterior con el propósito de presentar y analizar el uso de la experimentación mental en la enseñanza de la Teoría de la Relatividad Especial a maestros en formación, como el eje central de una propuesta de intervención que permitirá abordar la física moderna en la escuela secundaria.

## CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

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 Newton y Maxwell respectivamente, 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. Ideas que conllevaron a la formulación de teorías que hoy conforman lo que conocemos como la Física Moderna<sup>1</sup>.

Sin embargo, a pesar de estas nuevas teorías, en la escuela, la física clásica de Newton y Maxwell, goza de un lugar privilegiado entre los docentes y por supuesto en el currículo; debido a que la enseñanza de la física se reduce a las teorías clásicas, relegando un espacio minúsculo en el último año y en el último período a la física moderna “y eso si queda tiempo”. 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 ellas como son: las estrategias de enseñanza, los

---

<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”

recursos didácticos y las actividades experimentales 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 para el maestro, pues desde su formación inicial, ya se ha visto limitado en estas temáticas.

Cuando nos referimos a la Física Moderna, estamos aludiendo a concepciones que transformaron la Ciencia y la Tecnología del siglo pasado. Un cambio paradigmático que revoluciona los mismos fundamentos de la ciencia en sus inicios, es decir, 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 de esta situación, diversos autores como Aubrecht (1986), Stannard (1990), Kalmus (1992), Swinbank (1992), en sus investigaciones consideran algunas razones que favorecen la inclusión de la física moderna en la educación media, tal es el caso de:

- Despertar la curiosidad de los estudiantes.
- La física es una actividad humana cercana a los estudiantes.
- Que los estudiantes tengan contacto con la física que se construyó a partir de 1900.

- Motivar a los estudiantes a elecciones de carreras científicas.
- La aparición de la física moderna en todos los espacios 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.
- Una visión de la física y del pensamiento científico actual y no sólo de hace más de un siglo.

Y 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.

En este sentido la pregunta es entonces, ¿por qué no se habla de física moderna en la escuela? Las razones pueden recaer primordialmente en la formación de maestros. Parece ser que los limitantes para que la física que se construyó desde el siglo pasado, sea esquivada 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 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 implicancias..." (Arriasecq & Greca , 2005, pág. 18).

Según Ostermann y 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, pág. 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 hace que el maestro no se sienta competente, y con un currículo en la escuela que 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 incluirlo de manera irresponsable, que en última instancia va en detrimento de la calidad de la enseñanza. Para Moreira 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 desde la escuela e inclusive en la educación superior, es realmente utópica. 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 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. “Einstein diseñó los experimentos mentales no sólo para el desarrollo de sus teorías sino también para comunicarlas al público” (Velentzas, Halkia, & Skordoulis, 2007, pág. 354).

Desde esta posibilidad es necesario entonces reconocer el verdadero potencial que tienen los experimentos mentales, debido a que precisamente fueron ellos quienes introdujeron lo que hoy conocemos como física moderna, como una idea, como un argumento, que contribuyeron al desarrollo de las Teorías en física moderna como la Relatividad Especial y General y la Mecánica Cuántica (como el gato de Schrödinger y el tren y el ascensor de Einstein) y que sus mismos autores utilizaban para acercar sus más abstractas ideas a quienes no tenían una total familiarización con la ciencia.

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.

Lo anterior evidencia una necesidad de reestructuración del currículo en la formación de maestros focalizada en dos aspectos: el primero, en las temáticas disciplinares propias de la física moderna, y segundo, en el uso de la experimentación mental. 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.

Al respecto se sabe entonces que, hay razones relevantes para incluir la física moderna en la escuela, y que en la literatura hay pocos estudios e investigaciones sobre este tema y menos aún en el contexto colombiano; lo que lleva a la necesidad de investigar cómo puede ser posible enseñar Física moderna a los maestros en formación de la Facultad Educación de la Universidad de Antioquia, haciendo uso de la experimentación mental, que posibilite la inclusión de la física moderna en la escuela, donde se incluyan aspectos epistemológicos, históricos y de contexto, y desde esa posibilidad apuntar a una reestructuración del currículo en la formación de maestros de la Licenciatura en Matemáticas y Física y de la Licenciatura en Ciencias Naturales, de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia.

Así mismo, se plantean las siguientes preguntas específicas, cuyas respuestas tienen como finalidad aportar a la solución del planteamiento del problema de manera general:

- ¿Cómo enseñar Física moderna a los maestros de ciencias en formación de la Facultad Educación de la Universidad de Antioquia, a través de la experimentación mental, que permita la inclusión de la física moderna en la escuela, fundamentada en aspectos epistemológicos, históricos y de contexto?
- ¿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?

- ¿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?

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 matemáticas que inhiben el aprendizaje de las ciencias.

## CAPÍTULO 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. La Investigación en la Enseñanza de la Física Moderna

En algunas escuelas de otros 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 & Moreira, 2004, pág. 7). 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 y Moreira (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, & Otero, 2007, pág. 240)

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, pág. 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 -como la mecánica ondulatoria-

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 (1981), los estudiantes al intentar unir ambos conceptos se confundían, en vez de conceptualizar que se trata de sistemas cuánticos con características particulares.

Los trabajos Hanc y Tuleja (2005) citados por Fanaro, et al. (2007) resumen el estado actual de la mecánica cuántica basado en software de simulación computacional y la propuesta de Feynman. Actualmente ellos están desarrollando materiales para enseñar mecánica cuántica exclusivamente desde la simulación computacional.

Por otro lado, en 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) se ha propuesto un estudio con estudiantes de 16 años e intentan dar una imagen de la física actual (Fanaro, et al., 2007).

Litwin habla acerca de la vitalidad de los currículos al reconocer factores como: “la inclusión de nuevas materias, los cambios en la jerarquía de otras, así como un estudio de la proporción en que suceden y un análisis interno, reconociendo si se da en los ciclos básicos o en las orientaciones, si provoca que se agreguen materias o se anulen, etc.” (2006, pág. 28), también reconoce que las últimas investigaciones en materia de currículo proponen la necesidad de atender al desarrollo de la ciencia, la tecnología y las necesidades sociales y de la comunidad, y mostrar cómo el currículo refleja esa atención. Es claro que en este sentido, en temas de desarrollo de la ciencia y su relación con el currículo, el país aún tiene mucha distancia por recorrer.

Y aunque las razones por incluir la física moderna en la escuela ya no es tema de discusión, todavía hay muchas incógnitas frente a cómo hacerlo. Las investigaciones apuntan a diseño de unidades didácticas con diferentes metodologías, que son aplicadas al aula y a la formación de maestros.

## **2.2. La Física Moderna en la Escuela y la Formación de Maestros.**

La actuación del maestro en clase y la formación inicial de este ha sido el objeto de estudio de un gran número de investigaciones, Rezende (2006) citado por Krey y Moreira (2009) indica que los maestros tienen una marcada tendencia en asociar o reproducir lo que fue elaborado durante su formación inicial tanto en lo conceptual como en lo metodológico, dentro de los espacios donde se desempeñan como maestros. Lo que nos afirma que hay una fuerte relación entre la formación de maestros y la práctica docente, tal como lo dice Krey y Moreira (2009) que consideran que los conceptos adquiridos significativamente y 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 en su práctica profesional.

En el contexto colombiano, donde la física moderna no hace parte del plan de estudio, la elección de temas de física moderna por parte de los maestros no sólo se reduce a un tema de reestructuración del currículo, sino a la formación de maestros, a lo que les fue significativo en su formación y que se traduzca en maestros competentes para abordar tanto desde lo conceptual como lo metodológico las temáticas en cuestión. Si bien es cierto que la física moderna trae grandes beneficios para los estudiantes, aún se resiste a entrar en la escuela y en el currículo colombiano. Aunque algunos esfuerzos se han hecho (en otros países), solo se consigue de manera superficial y tangencial.

Algunas de las causas evidencian un problema netamente de formación de maestros: El desconocimiento de 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 de ella y la vida cotidiana. Aun 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”.

En cuanto a la complejidad matemática se hace referencia a la concepción de la ciencia y la física que se tiene: de que 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. Vicario y Venier refiriéndose a los trabajos expuestos durante la X Conferencia Interamericana sobre Educación en Física, presenta las palabras del profesor Guillermo Pineda de la Universidad de Antioquia, durante su presentación: “Por qué , qué y cómo de la enseñanza de la Física en la Educación Media” donde este señaló que resulta incorrecto decir que no se puede enseñar física cuántica en la escuela por las dificultades matemáticas que encierra su formalización “Estas no son mayores que las necesarias para enseñar la Mecánica Newtoniana, cuya inclusión en los planes de estudio ya nadie discute” (2010, pág. 54). Si bien es cierto, hay una complejidad matemática y hay un nivel de abstracción en cuanto a las temáticas de física moderna, estas no desbordan a lo que se ha considerado desde la física clásica.

En cuanto a la competencia de los maestros, según la investigación de González, Fernández y Solbes (2000), los maestros en formación 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 como texto guía de sus estudiantes (Pérez & Solbes, 2003). No se tiene la costumbre de usar textos de un nivel superior para la preparación de las clases, es así como el maestro 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 encierren las dificultades propias de los científicos y las necesidades que condujeron al desarrollo de estas teorías (Arriasecq, et al, 2005, p.18). 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.

### 2.3 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 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 (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 a y lo asocia cualquier tipo de experiencia mental como soñar, alucinar, escribir novelas o imaginar utopías. Esta concepción tan general de los experimentos mentales no reflejan 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

---

<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.

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 moderna son inalcanzables, tales como la escala de Planck y el interior de un agujero negro” (Reiner & Burko, 2003, pág. 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 para los experimentos mentales:

- Destructivas: Destruyen o al menos plantean serios problemas a una teoría (por ejemplo, gato de Schrödinger)
- 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; se hace 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).
- 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 Relatividad Especial) porque 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).

## **CAPÍTULO 3. PROPÓSITOS GENERAL Y ESPECÍFICOS**

### **3.1. Propósito General**

Analizar el uso de la experimentación mental en la enseñanza de la Física moderna en la formación de maestros de Ciencias de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, para que permita la inclusión de la física moderna en la escuela.

### **3.2. Propósitos específicos**

- Indagar por las estrategias, dificultades y ventajas que tiene la enseñanza de la física Moderna para la formación de maestros de Ciencias de la Facultad Educación de la Universidad de Antioquia y su posterior aplicación en su práctica pedagógica.
- Diseñar experimentos mentales que permiten el abordaje de la física moderna en la formación de maestros, en los que se tenga cuenta las dificultades y ventajas que ella misma encierra para su enseñanza en la Escuela.
- Describir algunas implicaciones pedagógicas y didácticas derivadas de la implementación de la propuesta de intervención sobre la enseñanza de la física moderna en la formación de maestros en la que se privilegia la experimentación mental.

## CAPITULO 4. DISEÑO METODOLÓGICO

### 4.1. Enfoque y tipo de estudio

Esta 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 privilegian estrategias de recolección y organización de información como el análisis documental, las entrevistas semiestructuradas y los protocolos de observación y el análisis cualitativo de contenido.

Se considera precisamente que es el *estudio de caso* el método más adecuado para esta investigación, debido al carácter interpretativo y el nivel de detalle que se quiere lograr. De acuerdo con esto, y siguiendo a Stake (1998), se da mayor relevancia a la interpretación que es la característica más distintiva de la investigación cualitativa en función de comprender un caso particular en detalle, a través de la observación y de la retroalimentación permanente de los sustentos teóricos que orientan las interpretaciones. Naturalmente que la comprensión y el análisis de las circunstancias que se presentan se verán influenciados por el marco teórico antes construido.

## **4.2. Participantes y criterios de selección**

El trabajo de investigación está dirigido a maestros en formación en ciencias, particularmente de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia. Los participantes fueron los estudiantes del curso de Taller de Física del semestre 2014-1, cuyo profesor del curso facilitó la selección de los participantes.

Los nueve estudiantes seleccionados, hacen parte de la versión 2 del programa de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, entre los niveles académicos seis y siete, ninguno ha cursado las asignatura que se relacionan directamente con la física moderna como: Relatividad, Mecánica Cuántica, Seminario de Física Moderna o Energía y Universo que son cursos que ofrece la facultad en esta dirección.

## **4.3. Estrategias para la recolección de la información**

Las estrategias para recoger la información fueron: guías de trabajo individual y grupal, actividades didácticas experimentales, plenarias grupales y entrevistas semi-estructuradas. Las guías de trabajo individual y grupal se constituyeron en actividades didácticas experimentales, donde se diseñó e implementaron experimentos mentales sobre la teoría de la relatividad especial.

La recolección de la información se hizo por medio de *cuestionarios* para las entrevistas semi-estructuradas y las producciones escritas, cuya intencionalidad fue evidenciar las concepciones, experiencias y estrategias que tienen los participantes en relación con el tema a abordar y las diferentes percepciones que se tenían con respecto a la física moderna.

Así mismo, se utilizó el *diario de campo*, donde se registraron todos aquellos aspectos que eran relevantes para el investigador mientras los participantes discutían en pequeños grupos sus apreciaciones, además de los aportes que no aparecían directamente indicados en sus producciones escritas y eran emergentes durante las plenarios.

La recolección de la información se realizó a lo largo de tres sesiones cada una de dos horas en contacto directo con los participantes, de estas sesiones se recogieron las producciones escritas de los estudiantes, registros de audio y video, las observaciones de la investigadora y las notas de un diario de campo.

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 de la física moderna; si se visualizan en su práctica pedagógica y profesional enfrentando 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 implementó un cuestionario individual (ver Apéndice A.

Cuestionario de la sesión 1) con su respectiva producción escrita de las indagaciones ya expuestas, y a continuación se realizó una socialización a manera de plenaria donde todos los participantes ampliaron las reflexiones suscitadas a partir de las preguntas del cuestionario y otras preguntas que surjan de las consideraciones hechas en las actividades anteriores.

En la segunda sesión, se presentó un diseño de experimentación mental titulado “¿Cómo se vería el mundo si yo viajara en un rayo de luz?” (ver

### **Apéndice B.**

Experimento Mental: ¿Cómo se vería el mundo si yo viajara en un rayo de luz?), 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 para 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.

Este experimento mental contiene una serie de preguntas de carácter disciplinar, que no son objeto de esta investigación, si bien fueron tratadas durante la implementación, el objetivo de esta investigación no se centran en una evaluación de contenidos de la relatividad especial, sino en un análisis de la experimentación mental como una estrategia de enseñanza que permite la inclusión de la física moderna en la escuela y es en esa dirección en donde se dirige nuestra atención.

En esta sesión, los participantes después de leer y analizar en grupos pequeños el experimento mental, recibieron un cuestionario sobre la experimentación mental como estrategia de aula (ver Apéndice C.

Cuestionario de la sesión 2) y realizaron una producción escrita de sus apreciaciones, y a través de su participación en una plenaria expusieron sus puntos de vista en cuanto a la experiencia realizada. Se realizó también una entrevista grupal guiada por unas preguntas que demanden el conocimiento y percepciones sobre aspectos epistemológicos e históricos.

En la tercera sesión, se presentó el diseño de la actividad experimental (ver

### Apéndice D.

Experimento Mental: Una Ciudad muy Extraña) que ha sido adaptada de “*Quinto sueño: El señor Tompkins sale de vacaciones*” (Gamow, 1997), y en esta actividad 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 a los observadores y considerar sus respectivos efectos sobre una serie de situaciones, que convergen 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.

En esta sesión, nuevamente la actividad experimental tiene una serie de preguntas de carácter disciplinar (ver

## Apéndice E.

Cuestionario de la sesión 3), pero no es nuestra intención su análisis, sino más bien la percepción que los participantes tienen y su posible aplicación en la escuela como una estrategia didáctica. Cada participante expone su producción escrita de un cuestionario dirigido al análisis de la experimentación mental como estrategia para la inclusión de la física moderna en la escuela, dando lugar a intervenciones de sus compañeros a manera de plenaria, 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, 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.

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 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 preguntar, identificar, clasificar, observar, y predecir las particularidades de cualquier fenómeno que le encierre; respondiendo más a una imagen de ciencia como un proceso de construcción social y científica que a un resultado o producto terminado.

#### **4.4. Procedimiento de análisis**

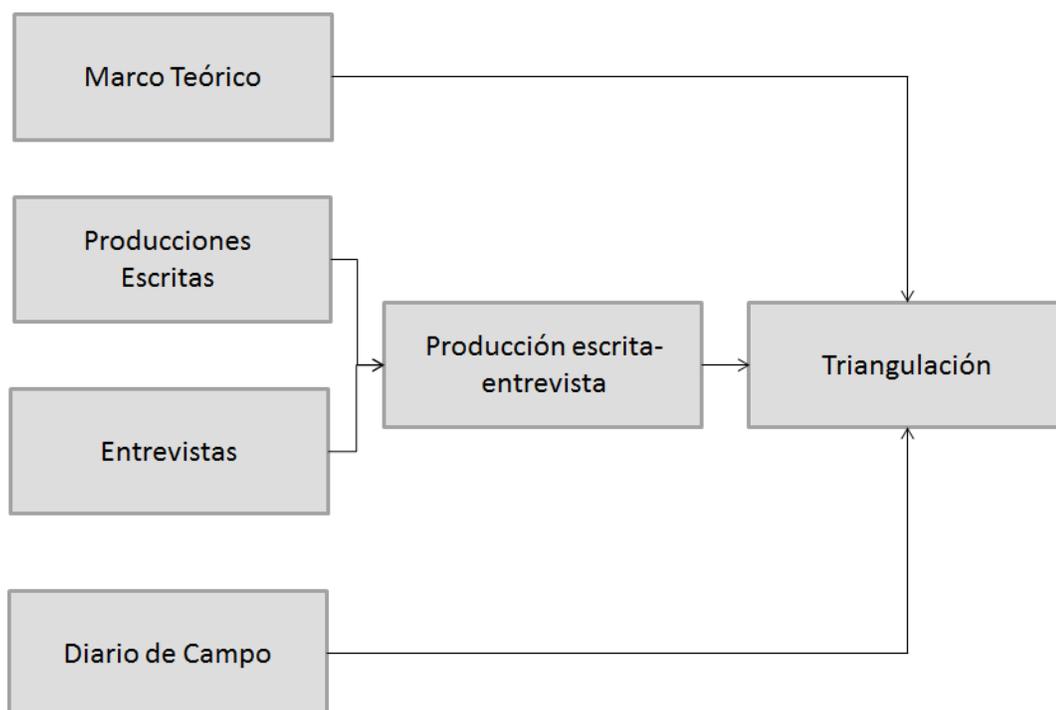
Teniendo en cuenta lo que hemos mencionado sobre las estrategias de recolección de la información y la descripción de las sesiones, se contrasta cada una de estas fuentes y el marco teórico, en otras palabras, se hizo un proceso de triangulación<sup>3</sup>, que permite poner en diálogo y

---

<sup>3</sup> Según Cisterna (2005) la triangulación de información es la acción de reunión y cruce dialéctico de toda la información pertinente al objeto de estudio surgida en una investigación por medio de los instrumentos correspondientes, y que en esencia constituye el corpus de resultados de la investigación

reflexión la información obtenida durante la implementación y lo encontrado en las fuentes bibliográficas durante la construcción del marco teórico y el estado del arte.

En la siguiente figura se resume y hace evidente el proceso seguido para el análisis de la información.



*Figura 1. Esquema de triangulación*

#### **4.5. Fases o momentos de la investigación**

La investigación se realizó 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.

*Etapa de construcción del estado del arte:* En esta etapa se localizó y recolectó en bases de datos bibliográficas los artículos o memorias de eventos académicos que contuvieran alguna relación con el problema de la investigación. Se consideran primordialmente aquellos que realmente apuntaran a las necesidades que presenta la investigación en un intervalo de tiempo entre el año 2000 y 2009, añadiendo algunos artículos más antiguos que presentaban una pertinencia relevante.

*Etapa de Desarrollo de la fundamentación teórica:* Cuando la información se selecciona, su contenido se separa según las temáticas a abordar en la propuesta de investigación, las cuales fueron: La enseñanza de la física moderna, La experimentación mental en la enseñanza de la física moderna, Papel de la experimentación mental. Se analizó cada uno de estos temas y sus posibles acercamientos para el desarrollo de la investigación y la implementación de la propuesta.

*Etapa de Diseño e implementación de la propuesta pedagógica:* Después de definir los sustentos teóricos se diseñaron cada una de las sesiones que dieron origen a la información por la que se quiere indagar, así mismo con los experimentos mentales que fueron puestos en circulación durante la siguiente etapa, todo esto para poder hacer las consideraciones y los análisis que puedan dar cuenta de la problemática que nos hemos planteado.

*Etapa de Análisis de registros y datos:* Una vez se obtiene la información de las implementaciones de la investigación por medio de registros de audio, video, diarios de campo y producciones escritas se hace un proceso de sistematización de la información, transcribiendo y organizando en categorías y subcategorías los registros hechos con miras a identificar los principales hallazgos obtenidos de esta recolección.

*Etapa de Redacción del informe final:* En el informe final se dio cuenta de las de los hallazgos, las limitaciones, los factores que enriquecieron o influenciaron la información y que pueden dar consistencia a las interpretaciones que se hacen del estudio de caso.

#### **4.6. Categorías y Subcategorías**

El análisis de la información reclama una organización por medio de categorías y subcategorías que se generan como resultado de la revisión bibliográfica, las dinámicas de la investigación y otras más que emergieron durante la recolección de la información y su sistematización. Es así como planteamos tres categorías cada una con dos subcategorías y la relación que presentan con los propósitos de la investigación, esta distribución se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 1 Categorías y subcategorías de análisis*

<b>Propósito General</b>	<b>Propósito Específico</b>	<b>Categorías</b>	<b>Subcategorías</b>
Analizar el uso de la experimentación mental en la enseñanza de la Física moderna en la formación de maestros de Ciencias de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, para que permita la inclusión de la física moderna en la escuela.	Indagar por las estrategias, dificultades y ventajas que tiene la enseñanza de la física Moderna para la formación de maestros de Ciencias de la Facultad Educación de la Universidad de Antioquia y su posterior aplicación en su práctica pedagógica	La enseñanza de la física moderna	Maestros en formación y la enseñanza de la física moderna  Dificultades en la enseñanza de la física moderna: Un asunto de formación de docentes  La licenciatura en matemáticas y Física y su aporte en Física Moderna
	Diseñar experimentos mentales que permiten el abordaje de la física moderna en la formación de maestros, en los que se tenga cuenta las dificultades y ventajas que ella misma encierra para su enseñanza en la Escuela.	La experimentación mental	El papel del experimento y las imágenes de ciencia  La experimentación mental y el experimento real
	Describir algunas implicaciones pedagógicas y didácticas derivadas de la implementación de la propuesta de intervención sobre la enseñanza de la física moderna en la	El experimento mental como estrategia de enseñanza	El experimento mental como estrategia de aula en la física moderna  El experimento mental como motivador y

	formación de maestros en la que se privilegia la experimentación mental.		generador de preguntas en el aula
--	--------------------------------------------------------------------------	--	-----------------------------------

La primera categoría: La enseñanza de la física moderna, se pregunta por aquellas percepciones que tienen los Maestros en formación en relación con la enseñanza de la física moderna, la identificación de factores locales en el contexto de la Universidad de Antioquia que propenden o imposibilitan la enseñanza de la física moderna y las posibles inclinaciones, avatares o dificultades frente a la inclusión de la física moderna en la escuela.

La segunda categoría: La experimentación mental aboga por la importancia de la experimentación mental como un tipo de experimentación diferente, siendo la experimentación mental una de las herramientas que el hombre de ciencia ha utilizado para este propósito, por lo que hay un análisis sobre el reconocimiento de la experimentación mental como actividad científica y una caracterización de la misma.

El experimento mental como estrategia de enseñanza vincula aquellos aspectos o estrategias didácticas que tiene la experimentación mental con la enseñanza de la física moderna, al considerar principalmente al experimento mental como estrategia de aula motivadora y como generador de explicaciones en el aula, permite establecer una relación entre la experimentación mental y la enseñanza de las ciencias, particularmente de la física moderna. El análisis de estas categorías se originará a partir de la información que se recoja durante las tres sesiones que reúne la intervención.

#### **4.7. Criterios de credibilidad**

Cada uno de los instrumentos utilizados durante la investigación, principalmente los diseños de las experimentaciones mentales y las entrevistas fueron sometidos en diferentes tiempos a la revisión por parte de estudiantes de maestría que se encontraban realizando un proceso similar en su respectivo trabajo de tesis, y en diversos encuentros académicos organizados por el grupo de investigación, donde pares académicos, profesores e integrantes del grupo de investigación dieron sus aportes para la corrección y mejoramiento de los mismos.

El proyecto de investigación fue presentado en la Conferencia de la Asociación Latino Americana de Investigación en Educación en Ciencias 2013, realizada en Manaus, Brasil del 22 al 25 de octubre de 2013, donde pares académicos de todo el continente pudieron dar cuenta de la propuesta que se implementaría. Igualmente a la convocatoria de Pequeños Proyecto del Centro de Investigaciones Pedagógicas (CIEP) de la Facultad de Educación, obteniéndose el máximo puntaje y la financiación del mismo.

Los instrumentos fueron sometidos a varias pruebas piloto, mediante las cuales se pudo evaluar aspectos como la extensión, el tiempo requerido, la pertinencia de las preguntas, la claridad de las preguntas, entre otros, que permitieron mejorarlos para luego ser presentados en su forma final a los participantes del grupo descrito.

#### **4.8. Compromiso ético**

Al momento de hacer la implementación de la propuesta de investigación se adquirió un compromiso ético centralizado en la discreción y la conservación de la identidad de quienes hicieron parte del desarrollo de la investigación.

También se realizó el uso adecuado de la información obtenida y de su análisis, manejando con mucho respeto y responsabilidad lo que aportará durante las sesiones. De igual forma, se ofrecieron voluntarios de entre los mismos participantes para una evaluación de las conclusiones que surgieron de la investigación.

Es así como los participantes firmaron un documento autorizando a la investigadora para que las fuentes de información se constituyeran en la base de datos principal de la investigación. Los participantes también tenían la opción de especificar alguna recomendación o sugerencia con respecto a su situación particular (ver

Apéndice F.

Protocolo Ético).

## **CAPÍTULO 5. HALLAZGOS Y ANÁLISIS**

El análisis de la información obtenida se realizó a partir de un proceso de categorización y triangulación entre los diferentes instrumentos utilizados y con el marco teórico. La información obtenida de las entrevistas y las producciones escritas fueron condensadas en una primera instancia, para luego ser contrastadas con el diario de campo de la investigadora y el marco teórico construido, tal como se esquematiza en la figura 1.

De esta manera se pudo encontrar aspectos coincidentes entre los instrumentos, el marco teórico y el diario de campo, en relación con las categorías y subcategorías ya mencionadas, que también fueron tomando forma a partir de este proceso. A continuación se presentan las descripciones de los hallazgos para cada una de las categorías y subcategorías presentadas en la tabla 1.

### **5.1. La enseñanza de la física moderna**

Esta sección se orientó bajo preguntas que buscan extraer la percepción que tienen los maestros en formación de la licenciatura en matemáticas y física con respecto a su interés en la temática, las dificultades con las que se encontrarían en su práctica docente y si actualmente el plan de estudios está dirigido a incluir la física moderna de manera eficaz en la escuela.

Estas preguntas permitieron conocer de primera mano lo que piensan los futuros maestros de física sobre la enseñanza de la física moderna en la escuela, sus aportes son de gran importancia porque nos dan una visión de lo que le espera a la enseñanza de las ciencias. Al tener presente la importancia de la enseñanza de la física moderna ya descritas en la justificación, que varios autores coinciden en que su implementación incide directamente en la decisión de optar por carreras científicas en la educación superior, es de esperar que si un buen número de maestros en formación muestran alguna inclinación por la enseñanza de la física moderna en la escuela, estaríamos a puertas de que en Colombia o al menos en el contexto más cercano donde inciden estos maestros (Antioquia) haya un incremento en inscripciones a carreras científicas y sus respectivas repercusiones en la sociedad y en el pueblo Colombiano a nivel científico y tecnológico.

Dado que en anteriores versiones del programa materias como mecánica cuántica o relatividad no eran cursos propios del programa y sólo se presenta una síntesis en un curso a modo de seminario de Física Moderna, varios participantes señalaron la incapacidad con la que sus pares de versiones anteriores se hallan al terminar la carrera para cumplir el cometido de enseñar física moderna en la escuela. Y aunque se sienten optimistas porque actualmente, el pregrado ha hecho grandes esfuerzos por incluir los cursos de mecánica cuántica y relatividad dentro del plan de estudios, sienten que hay varios aspectos que necesitan especial detalle para alcanzar los objetivos que se propusieron con estas asignaturas.

Las dificultades con las que un maestro de ciencias se encontraría al momento de enseñar física moderna en la escuela van de la mano con lo referenciado en el marco teórico: la preparación de los maestros, la falta de estrategias y el pobre enlace didáctico, epistemológico e histórico que se ha hecho desde su formación como maestro con estas asignaturas.

La parte experimental, los materiales y recursos físicos no parecen ser la mayor preocupación de los futuros maestros, aunque sólo un participante lo señaló es importante, porque él mismo rescata que dificultades similares se presentan en la experimentación en la física clásica.

### **5.1.1 Maestros en formación y la enseñanza de la física moderna**

En términos generales todos los participantes, sin excepción consideran que es importante y necesario enseñar la física moderna en la escuela, las razones para estas afirmaciones van desde su experiencia como estudiantes en la escuela, los interrogantes que ofrece el estudiante actual de escuela van más allá de la física clásica y el hecho de que la física moderna llegan desde otros contextos diferentes a la escuela, las descripciones que se pueden hacer más detalladas del mundo que les rodea, explicación de fenómenos cotidianos, y en otorgar a los estudiantes una visión de ciencia más actualizada.

Con respecto a la experiencia con los estudiantes y en relación a las implicaciones de la enseñanza de la física moderna en la escuela y la orientación profesional de los estudiantes. También observamos que los maestros en formación sienten un deber con su desempeño como

profesores de ciencias, les preocupa su actuación y lo que harán desde su papel como maestros; saben que son autónomos, pero que desde su autonomía hay una conciencia que les propone enseñar ciertas temáticas y que este llamado responde más a una consecuencia social que a un interés particular. Al respecto dos participantes indican:

*EV: Sí, hablando propiamente de mi paso por la escuela, sentí que esta temática me la quedaron debiendo, nunca me mencionaron la existencia de una física más allá de Newton, por lo tanto siento que es un deber por parte de nosotros los maestros actualizar los conocimientos que se imparten en la escuela, al no hacerlo estamos posiblemente castrando a los estudiantes y negando las oportunidades de ver en ellos investigadores amantes de las ciencias naturales.*

*GT: El enseñar física moderna en la escuela, debe ser una preocupación por parte de los actuales educadores en ciencia, puesto que todos reconocemos que nuestro sistema, avanza en diferentes factores tanto económicos, políticos y científicos. Por tal motivo, se hace fundamental no quedarnos enseñando la física de Newton y todos estos temas que tienen un tiempo considerable en la historia, sino que es notorio ir trayendo a la escuela todos estos avances que ha tenido la física en los últimos tiempos.*

A los maestros en formación, uno de los aspectos que más les llama la atención de la enseñanza de la física moderna es la posibilidad de ofrecerle al estudiante actual una respuesta a esas preguntas que en otro espacio no podría realizar, el carácter motivacional que trae consigo es apreciado por ellos, sienten que el estudiante ya no le es suficiente la física clásica y que es preciso poder enseñar otras instancias de la física.

*OP: Si, la enseñanza de la física moderna es crucial para la descripción de los fenómenos y el medio que nos rodea, ésta es importante ya que presenta respuestas más acertadas...*

*AR: Efectivamente, si miramos a las cuestiones del mundo moderno, los interrogantes de nuestros estudiantes van más allá de la física clásica, quieren saber sobre los agujeros negros, qué pasa si uno alcanza la velocidad de la luz, etc. Con todos estos interrogantes la física moderna sería una gran motivación en ellos.*

*DA: Completamente, pues el desarrollo de la física moderna ha creado una gran revolución en cuanto a los artefactos cotidianos que se manejan hoy en día; problemas que van desde el funcionamiento de una estrella fluorescente de juguete hasta las correcciones relativistas que se deben aplicar al GPS. Estos artefactos, además de facilitarnos la vida, deberían crear una revolución del pensamiento, para salir un poco de las ideas deterministas que nos dejó la física clásica y tener una mejor idea de los misterios de la naturaleza.*

Este último aporte, además de presentar una necesidad para explicar cómo funcionan ciertos artefactos está reproduciendo uno de los aspectos relatados en el marco teórico: La revolución del pensamiento que implica la física moderna y el carácter determinista que implica la física clásica como una de las dificultades que presentan los autores en el marco teórico para la enseñanza de la física moderna. Este aspecto también lo resalta otro participante:

*AC: Por otra parte muchos conceptos físicos (como la longitud y el tiempo) son comprendidos por los estudiantes como una medida de un cambio absolutista, no se tienen en cuenta los sistemas de referencia donde ello se cumple, generalizando y minimizando el conocimiento físico sólo en su forma clásica...*

Así pues, los maestros en formación destacan que la enseñanza de la física moderna en la escuela debe ser un hecho y parte de la enseñanza de las ciencias en cualquier plan de estudio actual. Las razones que expusimos anteriormente, son las expresiones de futuros maestros que se han preguntado y reflexionado sobre su práctica pedagógica y profesional, y que por ende se puede ver que hay una preocupación en su actuación como maestros, la enseñanza de las ciencias, y el progreso de una sociedad en términos científicos y tecnológicos.

Cuando responden a por qué lo considera importante, sus respuestas apuntan a un reconocimiento de un estudiante diferente que hay en las aulas, un estudiante que se ve invadido de medios de comunicación e información y que constantemente se está haciendo preguntas, cuestionamientos y razonamientos diferentes, y que para este nuevo estudiante es necesario un nuevo maestro que vaya a su ritmo y paralelo al mundo que lo está informando. Ese reconocimiento de este nuevo estudiante, resalta en él un sujeto que debe ser motivado constantemente y que de esta motivación depende mucho las temáticas que se eligen, siendo la física moderna, a su parecer, una de las formas de la ciencia más llamativa, enigmática y controversial.

### **5.1.2. Dificultades en la enseñanza de la física moderna: Un asunto de la formación de docentes**

Ante el cuestionamiento de cuáles son esas dificultades que tienen los maestros y ellos mismos (los participantes) como maestros en formación si se enfrentaran a la enseñanza de la física moderna de la escuela, como respuesta al unísono fue la pobre formación del docente en estas temáticas. Veamos algunos comentarios relacionados con este aspecto:

*JP: Como una de las dificultades más considerables de la física moderna es el manejo de los contenidos...*

*AM: la falta de apropiación como docente.*

*AC: La mayor dificultad es la formación que el docente tuvo, es decir, por lo general los docentes no han tenido una buena formación en la física moderna, puesto que los programas de formación de maestros están diseñados en su mayoría con contenidos clásicos.*

*GT: Con no tener una fundamentación teórica clara y unas herramientas precisas que le permitan combinar lo conceptual con lo experimental y por tal motivo, los educandos no pueden tener una claridad en el contenido enseñado.*

La formación del docente es presentada como el aspecto más importante y determinante a la hora de que un maestro se proponga enseñar física moderna; la carencia en la comprensión de los conceptos, de los contenidos y la ausencia de las estrategias representan uno de los

limitantes más álgidos al reconocer el conjunto de dificultades de la enseñanza de la física moderna. Estas limitaciones en la formación del docente redundan en la adopción de malas estrategias a la hora de enseñar la física moderna. Los reduccionismos matemáticos y la escasez de estrategia son puntos que los maestros en formación consideran relevantes a la hora de su desempeño profesional, como se evidencia a continuación:

*AR: Una gran dificultad sería que se basara solo en ecuaciones para explicar conceptos, así como ha pasado con la física clásica, donde se pone por encima del concepto la fórmula (ecuación matemática) lo cual no frustra solo al estudiante, también al maestro.*

*OP: Una de las dificultades más relevantes sería el sesgo que genera en el estudiante la mirada clásica del entorno, un cambio conceptual representa un choque tanto pedagógico como cognitivo... en la medida que invita al alumno a ver el mundo desde otro paradigma, enfoque mismo que fue subyugado por la física clásica y que podría representar incluso un absurdo.*

*AC: Otra dificultad es la ejemplificación o contextualización porque tiende a confundirse con simples percepciones sensoriales que aunque pueden familiarizar con el concepto relativista no es una manifestación del mismo.*

### **5.1.3. La licenciatura en matemáticas y Física y su aporte en Física Moderna**

Los participantes han tenido contacto con pares académicos que ya se han graduado y están ejerciendo en escuelas como maestros de física, algunos de ellos ya están en sus prácticas pedagógicas y desde estas experiencias han podido rescatar varias afirmaciones que van

cuestionando la formación en la línea de física, sugieren que hay unas limitaciones en la formación de física, y esto incluye por supuesto, a la física moderna. Es lo que se ve reflejado en los siguientes aportes con respecto al programa de la Licenciatura en Matemáticas y Física. No obstante, se reconocen los esfuerzos últimos que se han hecho para equiparar las dos líneas de la carrera. Los comentarios al respecto son los siguientes:

*EV: En los últimos años se ha buscado dar al programa un toque fuerte en el área de la física, no casualmente el curso de física moderna se ha dividido en dos cursos con la idea de ahondar más en dichos temas. La inclusión de la termodinámica y el electromagnetismo, adicional a física de medios continuos y física de los campos también muestran el interés por fortalecer la física en el programa, pero no ha sido suficiente, en el campo didáctico, solo hay una didáctica para los cursos de física.*

*CO: Definitivamente con la enseñanza, si bien en la universidad se dictan cursos de física moderna, los programan para los últimos semestres y no se acompañan de integraciones didácticas, además es un tema olvidado en otros cursos como epistemología de la física o introducción al pensamiento de la física.*

El anterior participante hace notar la necesidad de que en cursos de epistemología o introducción al pensamiento de la física se incluyan reflexiones en torno a las materias que han sido incluidas en el plan de estudios, es decir, que si bien hay una adopción de unos cursos en relación con la física moderna es necesario e importante que estos cursos tengan un sustento en otras materias, donde se pueda abordar aspectos epistemológicos, históricos y didácticos. Un espacio, u otros cursos donde apoyarse tal como sucede con las otras materias que han sido

tradicionales en los planes de estudio. El siguiente participante también va en la misma dirección:

*CO: Si bien se ha avanzado, aún existen cursos no integrados, como por ejemplo el curso de pensamiento físico y de historia y epistemología de las matemáticas y la física, en estos cursos no se toca la física moderna; y desde la parte didáctica también falta, pues el curso de integración didáctica 5 (didáctica de la física) dado que está programado para el semestre 7 no se tiene el conocimiento para hablar de física moderna.*

Los anteriores comentarios reflejan la inquietud de los estudiantes maestros en formación por el no aporte en lo didáctico, histórico y epistemológico en física moderna de la licenciatura, es decir, que si bien se han incluido cursos de física moderna en el plan de estudios, estos se presentan como unas islas de conocimiento y no se evidencia un enlace a las líneas pedagógicas y didácticas en las que se sustenta el programa.

Los cursos de mecánica cuántica y relatividad están presentados en los últimos semestres, sin embargo, consideran que hay una falencia en ello, debido a que no hay una razón de peso o un argumento válido que proponga que deba ser así y que por lo contrario no se pueda, desde los primeros semestres en diferentes cursos introductorios hablar de física moderna. Esto conlleva a que alrededor de estos cursos se tejan temores infundados como lo relatan los siguientes participantes.

*OP: No quiero decir con ello que los cursos que se ofrecen no sean los adecuados, sino en la medida y temporalidad en que estos se presentan...*

*AC:... además creo que es necesario que la física moderna se oriente a los estudiantes a la par con la física clásica, permitiendo identificar sus particularidades y posibilitando el conocimiento integral de la física.*

*AM: Ha mejorado pues ya se presentan dos cursos en esta dirección, solo que se presentan en los últimos niveles de la carrera, lo que da la impresión de ser complejo y que se dificulta enseñarlo.*

Otro efecto que produce la aparición en los últimos semestres de los cursos de física moderna es una apatía hacia la línea de física, que se manifiesta en la intención que tienen los maestros en formación a inclinarse más por la línea de las matemáticas, como lo relata el siguiente participante:

*DA: Encontrándome en el séptimo semestre del programa no he tenido acercamiento alguno a las temáticas de la física moderna, todo lo que he aprendido al respecto ha sido por mis propios medios, por lo que considero necesario algún acercamiento, sea por medio de conferencias o desarrollo de seminarios preparativos desde los primeros semestres, pues el poco acercamiento a la temática causa que muchos estudiantes tomen el lado de las matemáticas por simple desconocimiento de la belleza implícita en la física moderna.*

Es importante aclarar que ninguno de estos estudiantes ha visto alguno de los cursos relacionados con física moderna y que su cuestionamiento parte desde el imaginario que tienen al haber avanzado más de la mitad en su plan de estudios sin tener contacto con la física moderna. Hecho que en sí mismo también es un llamado para reflexionar sobre la pedagogía, didáctica, epistemología e historia que se pueda dar en torno a estas asignaturas.

## **5.2. La experimentación mental**

En esta categoría hablaremos sobre cómo conciben los participantes la experimentación mental y cómo la consideran en relación a un experimento real, para esto hubo dos preguntas orientadoras: ¿Qué es la experimentación mental? Y por otro lado si, ¿cree que es más importante un experimento ordinario que un experimento mental?

Ante estas preguntas, se pudo notar un desconocimiento sobre la experimentación mental, una imagen de ciencia que estaba implícita en sus respuestas, una concepción sobre el rol del experimento en la física y una jerarquización entre experimentos mentales y reales.

### **5.2.1 El papel del experimento y las imágenes de ciencia**

Uno de los principales hallazgos que como investigadora me llama la atención y quiero resaltar en este apartado, es el desconocimiento que tienen los participantes sobre la experimentación mental como una forma de experimentación o como estrategia de enseñanza:

*JH: No lo sabría afirmar porque conozco muy poco el experimento mental pero este simple ejemplo me ayuda a pensar en la experimentación mental como una opción en la física y conocer más acerca del tema*

Cuando se presenta el experimento mental como una de las formas en que algunos hombres de ciencia construyeron sus teorías lo reconocen como un ejercicio que contribuyó significativamente a ese hecho, pero que no fue algo indispensable en la “validez” de la teoría, se percibe que al menos, hasta este momento, nunca lo habían considerado como una forma genuina o diferente de hacer experimentación y que por consiguiente debía ser demostrado consecuentemente con algún experimento real.

La siguiente afirmación pone en manifiesto la concepción sobre la experimentación mental en un momento inicial de esta investigación:

*DA: La física moderna nace de la abstracción y de la imaginación de grandes genios, aunque ¿qué sería de la teoría de la relatividad, si el Astrónomo Edington no hubiera corroborado la desviación de las estrellas durante el eclipse? o los grandes descubrimientos efectuados en el CERN, que nos muestran que la física moderna también debe suponer efectos medibles y observables por medio de la experimentación.*

Para este participante *La Experimentación* es sinónimo de sistemas que pueden ser medibles y observables, y que desde este punto cualquier teoría que logre obtener dichos estándares está salvada, logra un nivel de verdadero absoluto, y deja en vilo toda acción que sea abstracta y que haga parte sólo de la imaginación. Es cierto entonces que hace una jerarquía entre estos tipos de experimentación en términos de otorgar “validez” a una teoría.

Otro comentario, refiriéndose a los experimentos reales, asegura que estos:

*AM: ...Evidencian y que permiten que deje de ser un invento mental.*

En estos términos la experimentación mental es considerada como un invento mental, como si cualquier tipo de alteración a las leyes o a las teorías pudieran tener lugar allí y que es sólo cuando se logra hacer una versión “real” del experimento mental, cuando se obtienen resultados favorables y por supuesto válidos para hablar de una teoría. Hay una urgencia y necesidad alrededor del experimento mental de un experimento tangible que lo acompañe, y le otorgue algún estatus real que lo dote de verdad.

Estas reacciones dan oportunidad a pensar que los participantes durante su plan de estudios, o al menos hasta lo que llevan en él, no han tenido un espacio donde se haya podido reflexionar ampliamente sobre el papel de la experimentación, la experimentación mental y sobre todo las imágenes de ciencia.

En torno al papel del experimento en la física se resalta el hecho de que éste tiene un uso de verificador de teorías y alrededor de la experimentación mental un verificador de la misma. La forma como se habla del poder que tienen los experimentos para asignar un valor de verdad, que una teoría sea infalible, el desconocimiento sobre la experimentación mental como una forma de experimentación, y el papel de “comprobador” de teorías que le adjudican al experimento, son características que trataremos a continuación.

Una imagen de ciencia como verdad inmutable y un papel del experimento como verificador y validador de teorías pone de manifiesto que hay una imagen positivista en torno a la ciencia entre los estudiantes participantes. Hecho que invita a una reflexión por parte de coordinadores, estudiantes y grupos de investigación asociados a la licenciatura sobre el tipo de docentes que se quiere formar y entregar a la sociedad.

Algunos cursos como Historia y Epistemología de la Física y la Matemática I y II promueven reflexiones en torno a la naturaleza y las imágenes de ciencia dentro de su programa. Sin embargo, solo hasta este semestre les fue ofrecido el primer curso dentro de su oferta de matrícula. Aun así considero que es de vital importancia que estas y otras discusiones se puedan ofrecer en otros espacios dentro de los primeros semestres en la formación de un futuro docente de ciencias.

### **5.2.2. La experimentación mental y el experimento real**

Si bien es cierto que los experimentos mentales cuando Ernst Mach citado por Brendel (2003) los considera se asocian a cualquier tipo de actividad mental como soñar, imaginar o recordar, ellos han atravesado cierta variedad de criterios que les han permitido apartarse de estas acciones y considerar la no alteración aleatoria de las leyes de la naturaleza, para configurar grandes teorías como las que se relacionan en el marco teórico. También he precisado en este marco teórico que no es necesario que un experimento mental tenga su par como experimento “real” para que sea experimento mental, por sí solo puede existir, además de que algunos experimentos mentales no necesariamente pueden ser llevados a experimentos reales, porque

ellos mismos pueden estar excediendo ciertos límites y escalas no realizables en condiciones normales.

En un segundo momento de la investigación, después de haber presentado con más detalle los fundamentos de la experimentación mental, y que fue estudiado y discutido uno de los experimentos mentales, podemos notar que hay miradas diferentes en torno a la experimentación mental. Sin duda alguna, hay una transformación con respecto al nivel en donde los participantes ubican la experimentación mental con respecto a la experimentación ordinaria, real. Sin embargo se puede apreciar que hay algunos rezagos con respecto a la fiabilidad que le otorgan a un experimento real como se puede ver en el siguiente comentario.

*DA: Tiene la misma o quizás más importancia que la experimentación ordinaria, pues la experimentación mental sirve para dar nuevos significados y encontrar nuevas propiedades en cada concepto. El punto en contra serían las falacias que en algunas ocasiones nuestra mente nos hace pasar, como se prueba en los experimentos asombrosos.*

Es como si la mente solo nos hiciera malas jugadas en experimentos mentales, y como si en los experimentos “reales” no hubiera opción al engaño, o a malas interpretaciones. Aun cuando reconoce bondades en el experimento mental, se sigue tejiendo un valor de verdad alrededor del experimento real.

En el siguiente aporte, vemos que hay un reconocimiento al experimento mental como didáctico, como estrategia de aula, como motivador de experiencias, pero no como experimento

propriadamente dicho: aún le sigue faltando ese experimento real que le respalde o afiance lo que su mente ha construido.

*JV: Considero que es de mayor importancia la experiencia mental, ya que allí los alumnos realizan una construcción mental de los conceptos junto con sus dependencias (si cambio algo que ocurre luego). No demerito los experimentos ordinarios, creo que lo ideal sería realizar el experimento mental y luego el ordinario, para que así los alumnos realicen sus construcciones mentales, pero que las afiancen evidenciándola con sus sentidos.*

*AR: Creo realmente que es fundamental y más importante que el experimento ordinario, porque he aprendido que para obtener unos resultados óptimos, primero deben pasar por la mente (imaginario) y luego comenzar a alcanzarlo.*

Nuevamente, se aprecia la necesidad de involucrar los sentidos en los experimentos, aun sabiendo que algunos fenómenos (electrostáticos, magnéticos...) no son perceptibles con los sentidos o que estos mismos pueden inducir a conclusiones erradas en sus explicaciones (fenómenos térmicos). Los sentidos en los experimentos, lo observable y lo medible a lo que hacen referencia los participantes, es una necesidad de validar la experimentación mental, aunque ya le hayan otorgado un valor en el aula, no se percibe que como experimento o actividad científica le hayan proporcionado un significado.

Acorde con el valor que se le asigna al experimento mental en el aula, un participante habla sobre los recursos que se cuentan en una escuela promedio y si de física moderna se trata, considera que para tales efectos es mejor considerar experimentos mentales para la experimentación en la clase de ciencias, y es en ese sentido que la evalúa como igualmente

importante, debido a que de ninguna otra forma encontraría la manera de hacer experimentación en el aula.

*JP: Hablando en física moderna la experimentación mental tiene la misma importancia que la ordinaria, ya que las ordinarias no tienen fundamento o discurso en un aula, pues no tenemos los recursos o herramientas para dichas prácticas.*

Se mantiene un reconocimiento de la experimentación mental por sus propiedades pedagógicas, didácticas y motivadoras, es decir, por sus alcances en el aula de clase. Es de pensar que como aliado del maestro de ciencias debería ser una herramienta que fuera más explícita en los cursos didácticos de física de manera temprana en el plan de estudios de la licenciatura, y que los estudiantes durante sus prácticas pedagógicas y profesionales puedan hacer un uso consciente y crítico de estas formas de experimentación como estrategia de enseñanza.

### **5.3. El experimento mental como estrategia de enseñanza**

Fue esta la característica más enaltecida por los participantes alrededor de la experimentación mental como lo analizaba en la anterior categoría: Si bien es cierto que no hay un reconocimiento desde el carácter científico como experimento se le reconoce como una excelente herramienta didáctica en el aula y un aliado del maestro que se propone enseñar física

moderna. El valor del experimento mental que los estudiantes en formación han referenciado lo clasifican como un facilitador en la enseñanza de física moderna, como una estrategia de aula independientemente del contenido que se esté enseñando y como un elemento motivador y generador de preguntas tanto en maestros como en estudiantes.

### **5.3.1. El experimento mental como estrategia de aula en la física moderna**

*EB: Con esta actividad el estudiante puede apropiarse más fácil de las características representativas de la relatividad.*

Es el comentario de uno de los participantes de la investigación después de que se dio a conocer uno de los experimentos mentales, la actitud que mostraba el grupo en general indicaba que había una aceptación integral por la actividad, que sin duda alguna les estaba permitiendo conocer una forma diferente de estudiar Relatividad y más aún la intención de poder usar este tipo de actividades en sus prácticas pedagógicas.

Otros estudiantes en sus opiniones daban un aire de garantía y asertividad de la construcción de la experimentación mental que les fue entregada durante las sesiones; se mostraban optimistas en el momento de que ellos mismos fueran a utilizar una actividad similar a sus futuros estudiantes en alcanzar los conceptos en torno a la Relatividad:

*DA: Si, ya que serviría para una comprensión basada en la construcción que cada estudiante realice en torno a la situación planteada. Creo que esta situación garantiza la comprensión del concepto.*

En sus apreciaciones los participantes pudieron distinguir y enfocar los contenidos que serían aprendidos por medio de la experimentación mental realizada, es decir, la intencionalidad con la que fue creada la experiencia mental al permitir la construcción de algunos conceptos alrededor de la Relatividad, tal como fue descrita en la sección sobre estrategias para la recolección de la información. Un comentario al respecto es el siguiente:

*AM: Me parece interesante pues ayuda a contextualizar a los estudiantes a la hora de trabajar relatividad... el estudiante puede evidenciar que tanto la velocidad como el desplazamiento dependen siempre del punto de referencia donde se observe... Muestra el tema de la relatividad como algo no alejado de la realidad, aunque sea una experiencia mental.*

*JP: Puede despertar el interés de los alumnos, es un mecanismo que deja a la luz conceptos claros sobre la relatividad, dichas actividades despiertan un aprendizaje significativo.*

El reduccionismo matemático que señalé en el marco teórico y en la descripción del problema como una de las principales formas en las que se estaba enseñando la física moderna, y que además causaba una serie de limitantes, reclamaba la necesidad de crear una actividad o estrategia que escapara a estas consideraciones y que por el contrario brindara una opción diferente a la hora de enseñar física moderna en las aulas. Esta característica fue alcanzada por las experimentaciones mentales que fueron presentadas durante la implementación, así fueron

calificadas y apreciadas por los participantes al reconocer en ellas un aporte a la enseñanza de la física moderna, especialmente porque el carácter de novedoso y original no sólo se centraba en el tema de física moderna que ya es escaso, sino en la implementación de la experimentación mental como el eje central de la propuesta. Algunos aportes al respecto son:

*JV: Resulta interesante en tanto que hay un acercamiento de los estudiantes con la relatividad sin necesidad de ecuaciones, sino sólo con la imaginación y una buena orientación del maestro. Además de ser una manera distinta de llevar los conocimientos a los alumnos, ellos van construyendo hipótesis que luego serán aceptadas o refutadas, conforme avanza la orientación del maestro.*

*JP: Se puede garantizar que con el ejercicio hay otros tipos de propuestas en la enseñanza de la física moderna que no necesariamente recurren a los modelos tradicionales de tiza y tablero, sino que puede llevar los conceptos con relaciones más cotidianas entre el alumno, el conocimiento y su entorno.*

La actividad mental no presentaba fórmulas matemáticas, pero si permite, según los participantes un acercamiento real a la Relatividad; también la actividad experimental abrió el camino para hablar sobre otros aspectos que van de la mano con las formas tradicionales de la enseñanza de las ciencias: los recursos usados por el maestro (tiza y tablero) y la falta de contextualización en sus explicaciones. Con respecto a la contextualización que se logró en las experiencias mentales agrego los siguientes comentarios:

*CO: Resalto la contextualización con lo del bus coonatra, rescato el repaso del contenido sobre velocidad (aclaración de Camila) y rescato el humor del texto en cuanto al comentario de velocidad negativa.*

*DA: Resulta interesante, pues es una lectura muy amena que seguramente interesará mucho a los estudiantes. Además de que muestra que la física se puede enseñar con el uso de situaciones comunes propias a un contexto y resalta, por medio del experimento mental, a la física como una ciencia construida experimentalmente.*

El carácter experimental de las ciencias, particularmente de la física fue un tema de discusión durante las sesiones, varios participantes anotaron la escasez de recursos que hay durante su formación en torno al experimento y que posiblemente las condiciones estarían lejos de mejorar durante su práctica pedagógica y profesional en la escuela, por lo que esas consideraciones de la física como ciencia experimental quedaba en entredicho y entre comillas. Sin embargo, hacia el final de las sesiones hubo una pequeña manifestación al tratar de reconocer a la experimentación mental como un tipo de experimentación y que sería de mucha ayuda en las aulas de clase, en donde por muchas razones no hay los elementos para hacer experimentación real.

*AC: En realidad, es difícil llevar físicamente experiencias que hagan evidente al fenómeno, sin embargo este tipo de ejercicio mentales permiten familiarizar al estudiante con el conocimiento en particular con la Relatividad, además de que despierta el interés y la curiosidad de los mismos.*

Parte de las discusiones giraban en torno a que la experimentación mental era un excelente recurso en el aula y que posiblemente había que cambiar la actitud del estudiantes que considera que se hace actividad experimental en tanto se vaya a un lugar que se llame “laboratorio”, y que no sólo la actitud de los estudiantes sino de algunos maestros que eran aún más tradicionalistas frente a la relación “experimento-laboratorio”.

Al final de las discusiones se pudo tener claro que como experimento la actividad experimental aporta algunas condiciones, pero que su valor real era por el componente didáctico que representaba. Frente a esta consideración los aportes más destacados son los siguientes:

*EV: Pienso que las lecturas (experimento mental) son un instrumento didáctico para desarrollar conceptos físicos dentro del aula de clase por el interés que esto despierta en los chicos novedoso y llamativo. Además es cambiar de metodología de enseñanza.*

*AC: la experiencia es muy factible de ser vivida en el aula, el cuestionamiento de estas situaciones mentales son una buena estrategia de enseñanza que posiblemente utilizaré en alguna ocasión... Esta experiencia mental podría constituirse como una excelente herramienta para nosotros como futuros docentes y como una excelente metodología de aprendizaje para nuestros estudiantes.*

Resulta interesante que un maestro en formación se piense en su actividad como docente clasificando desde ya aquellas actividades y estrategias que le gustaría implementar; considero que la experimentación mental abrió quizás muchas más posibilidades a la hora de decidirse si enseñar o no Física moderna de las que puedo ser consciente como investigadora. Pero, por la

forma en la que muchos de ellos se expresan, veo que hay una actitud más positiva, optimista frente a la enseñanza de la física moderna en relación con la experimentación mental.

En otras palabras, las expresiones usadas por los maestros en formación de cómo sería su práctica como docente en relación con las propuestas entregadas durante la implementación, dan como opción a manifestar que si bien querían enseñar física moderna no sabían cómo, pero ahora, por medio de la experimentación mental han podido enlazar esta posibilidad a un futuro próximo.

### **5.3.2. El experimento mental como motivador y generador de preguntas en el aula**

En la enseñanza de las ciencias una de las habilidades que se reconoce deben ser potenciadas en los estudiantes es la capacidad de hacerse preguntas en torno a una situación bajo estudio. A veces esta posición resulta ser más compleja que la actividad contraria de responder preguntas ya hechas; y es que cuestionarse en torno a un fenómeno o situación exige que ésta sea potencialmente un espacio generador de preguntas, aspecto que no es fácil de lograr en la mayoría de las actividades que se proponen.

Los experimentos mentales contruidos tenían una intencionalidad clara dentro de sus objetivos primarios frente a los contenidos que se pretendían estudiar, luego los participantes evaluaron su capacidad como facilitador en la enseñanza de la física moderna y como estrategia didáctica. Hasta ahí, el experimento mental había logrado posicionarse con mucha lucidez al interior de las sesiones, pero un aspecto más que no se había considerado desde un comienzo y

surge como subcategoría emergente es el hecho de que los experimentos mentales son generadores de preguntas:

*CO: Creo que es una forma de generar preguntas en los estudiantes, ya que la historia plantea una situación interesante y los estudiantes pueden querer resolver un enigma... pienso que este experimento mental es un detonante de preguntas que pueden hacer que los estudiantes se interesen en las soluciones y por ende en la física moderna.*

La forma como fue escrito el experimento mental a través de preguntas que encontraban otras preguntas en vez de soluciones llama la atención de los maestros en formación. El hecho de que la principal pregunta de uno de ellos, no fuera resuelta durante el desarrollo de la actividad, pero que a cambio se se mostró una serie de elementos que pueden quedar para la reflexión es un valor agregado que se reconoce dentro de la implementación:

*AC: Nos cuestiona frente a una situación que aunque no es real si posibilita generar dudas y opiniones frente a un conocimiento o tema específico. Se puede apreciar como algo tan natural como estas preguntas hechas por el profe de la lectura despierte curiosidad en sus estudiantes y en nosotros mismos, llevándonos a cuestionar cosas que antes no hubiésemos imaginado.*

La intención del experimento mental no fue solucionar una pregunta, dar respuesta clara, directa y concisa de algún enigma científico. Desde la historia que envuelve a los conceptos que se exponen en la experimentación mental se recrea una situación que invita a los estudiantes a seguir cuestionando sobre otros aspectos, tal vez no relacionados directamente con el tema central, pero si con la ciencia; permite que el estudiante dude de las teorías, que sus

pensamientos en torno a la física crean una revolución de ideas y que se sientan en la capacidad de cuestionar las posturas propias, del profesor y de sus compañeros.

*EV: Las preguntas generan posturas y desafían al lector a pensar y cuestionar conceptos y teorías.*

*AC: Es importante generar nuevas incógnitas con respecto a una situación específica, es por medio de indagación que se llega, se integra y se construye un conocimiento...*

Con esto, se está orientando una imagen de ciencia diferente; se muestra una ciencia que puede ser refutada, que puede ser cuestionada y que por consiguiente hay un derecho (y un deber) de cuestionarse y seguir indagando para encontrar las mejores soluciones a los “misterios” que parecieran estar resueltos, pero que es necesario seguir reflexionando en torno a ellos. Contrario a lo que ocurre en otras estrategias de aula donde no hay posibilidad de que el estudiante indague y sea crítico de lo que se está llegando al aula.

*JV: El docente parte de una situación cotidiana y va orientando a los alumnos de una manera asertiva. Da la posibilidad a los alumnos de ir planteando hipótesis y que refuten o validen. Las preguntas finales dan posibilidad para reflexionar y continuar con la discusión en un futuro.*

Es interesante el papel que asumieron los participantes durante este momento en la implementación, ellos mismos se han puesto en el lugar del maestro que relata una de las historias y han revelado otra de las intenciones ocultas que se descubre durante la implementación: El profesor no es el único poseedor de la verdad dentro del aula de clases, hay oportunidad para que otros estudiantes refuten, validen y argumenten ideas propias y ajenas.

Inclusive, durante las intervenciones se aprecia que ahora no es el quien obligatoriamente debe responder a las preguntas, la actividad permitió asignarle un papel diferente, uno donde éste era quien hacía las preguntas, hacía conjeturas y regresaba a sus estudiantes las preguntas que ellos mismos fabricaban. El maestro se trasladó hacia una posición de orientador asertivo, un moderador que dirige los aportes y conduce las soluciones más no las da de manera definitiva. Este aspecto, puede generar un cambio de roles entre los estudiantes y maestros de ciencia, además de que admite otro tipo de dinámicas al interior del aula, motiva y despierta interés de gran manera a los estudiantes al permitirles ser parte activa de lo que se está estudiando en el aula.

## **CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Después de la recolección y análisis de la información se pudo detectar y clasificar finalmente tres categorías de análisis principales, ellas son: La enseñanza de la física moderna, la experimentación mental y el experimento mental como estrategia de enseñanza; cada una con sus respectivas subcategorías que están registradas en la Tabla 1. En relación a estas categorías, cada una de ellas arrojó unos resultados que orienté igualmente en tres temas fundamentales, pero no correspondientes uno a uno con las categorías de análisis, sino que representan de manera global los aspectos más importantes al condensar estas categorías. A saber estos temas son: Sobre la enseñanza de la física moderna, la física moderna en la Licenciatura en Matemáticas y Física y la experimentación mental como estrategia didáctica. A continuación presento algunas conclusiones derivadas de los hallazgos y análisis:

### **Sobre la Enseñanza de la Física Moderna**

Los estudiantes que participaron en este estudio sabían de la importancia de la enseñanza y el aprendizaje de la física moderna, pero no habían hecho un ejercicio donde se pensarán como maestros de física moderna y las dificultades que tendrían en un futuro en sus prácticas pedagógicas y profesionales. Reconocieron que había una deficiencia en las estrategias que se deben utilizar dentro del aula cuando se quiere enseñar física moderna, pero a pesar de ello, los maestros en formación sienten un interés genuino por la enseñanza y el aprendizaje de la física moderna.

Este último aspecto es fundamental y fue determinante a la hora de presentar los experimentos mentales como estrategias de aula, porque es precisamente la ausencia de ella la que se evidenció tanto en el marco teórico como en la experiencia como estudiantes de los participantes. Esta necesidad marcó un interés dentro de la implementación, que muchos de ellos se pensaron en su quehacer como docente diseñando experimentos mentales o utilizando los mismos que fueron presentados durante este estudio.

Es pertinente decir que por medio de esta investigación se detectaron falencias en torno a la enseñanza de la física, pero que de la misma forma, se presentaron estrategias que hacen posible llegar al aula con estas temáticas. Por lo que esta generación de maestros tienen posturas claras y van de cara hacia una inclusión y mejoramiento de la educación en ciencias que incluye a la física moderna en la escuela.

Considero que en un futuro con mayores recursos, con otras investigaciones en relación a la física moderna, con mecanismos que puedan llegar a más maestros en formación, podríamos alcanzar que en un currículo escolar la física moderna no sea una opción de interés por parte del maestro, sino que sea algo tan natural dentro de él como las tres leyes de Newton.

### **Con respecto a la Licenciatura en Matemáticas y Física**

Esta investigación permitió conocer los avances y esfuerzos que ha hecho la Facultad de Educación y el pregrado, por incluir la física moderna en su plan de estudios de una manera más amplia que como se venía haciendo en otras versiones. Sin embargo, también se deja ver que

hace falta ahondar esfuerzos para darle sustento a estos nuevos cambios. Para destacar se tiene el hecho de que las asignaturas que ahora abordan la física moderna fueron incluidas sin realizar mayores cambios en aquellas que siguieron manteniéndose dentro del plan de estudios, es decir, si bien hubo una adición de asignaturas, no hubo una conexión entre estas y las que eran tradicionales. En otras palabras, no hay una integración didáctica donde se pueda ubicar como parte de su programa a la Mecánica Cuántica y a la Relatividad. Esto fue calificado y lo considero muy acertado en su descripción como una *Isla de Conocimiento*, donde no tenían ningún sustento epistemológico, histórico y menos didáctico y lo que ocurría en estas materias no tenía conexión con el resto del plan de estudios.

Algunas recomendaciones que parten de los problemas que fueron declarados a través de la implementación, están resumidas a continuación:

- Integrar didácticamente los cursos de Mecánica Cuántica y Relatividad.
- Los cursos iniciales como Introducción al Pensamiento Físico o cursos intermedios Epistemología e Historia de la Física y la Matemática I y II deben incluir en su programación reflexiones en relación a estos cursos que han sido incluidos en el plan de estudios.
- Promover mecanismos que permitan un contacto desde los primeros semestres con la física moderna, como seminarios, encuentros, conversatorios.
- Ubicar estas asignaturas en niveles intermedios o al menos no al final del pregrado, con la finalidad de que los estudiantes tengan paralelamente visiones clásicas y modernas de la física.

## La experimentación Mental

La experimentación mental como herramienta didáctica fue una de los aspectos que más evolución tuvo dentro de este estudio: Pasó por ser totalmente desconocida a ser considerada una herramienta indispensable en el aula y un facilitador en la enseñanza de la física moderna. Sin embargo, el aspecto que aún queda en el aire, y que requiere de mayor tiempo y otros mecanismos de reflexión es el hecho de que los participantes no reconocen en la experimentación mental un experimento argumentando básicamente que éste pierde validez en la medida de que en la mente todo puede suceder.

El objetivo de la investigación no era producir un adoctrinamiento alrededor de la experimentación mental, pero si era el de buscar una herramienta didáctica que permitiera incluir la física moderna en la escuela por medio de los maestros en formación, y este objetivo ha sido cumplido en el sentido de que los participantes declaran a la experimentación mental como una estrategia didáctica que potencializa no sólo el aprendizaje de la Relatividad en el aula, sino que posibilita dinámicas diferentes dentro de ella como generador de preguntas, cambios de roles y que ellos estarían dispuestos a incluirlas en sus prácticas pedagógicas y profesionales.

Con la experimentación mental, también se logró mostrar una imagen de ciencia que procura una construcción cultural del conocimiento, una ciencia que puede ponerse en consideración, a la que se le pueden hacer preguntas y conjeturas acerca de los discursos que maneja. Rompe con el paradigma absolutista que encierran otras dinámicas y estrategias de aula donde es el profesor y el libro los eruditos en el tema y son los estudiantes quienes se apropian de estos saberes de alguna manera; con la experimentación mental se pone sobre la mesa la

opción de crear, imaginar y desarrollar teorías y argumentos propios que constantemente estén cuestionando lo que está siendo objeto de estudio en el aula de clase.

La investigación se centró en el tema de la Relatividad Especial utilizando la experimentación mental, pero surgen los siguientes interrogantes: ¿Qué otras herramientas diferentes a la experimentación mental podrían permitir el acercamiento o la inclusión de la física moderna en la escuela? o ¿Podrá la misma experimentación mental favorecer la inclusión de otros contenidos (como es el caso de la mecánica cuántica) en la escuela?, ambos interrogantes podrían ser objeto de investigaciones similares a la que estoy presentando.

En cuanto a los experimentos mentales que fueron construidos quedan disponibles para su aplicación directa en estudiantes de la escuela secundaria y poder analizar su real pertinencia, y los alcances que estos podrían tener en cuanto a lo disciplinar y lo didáctico. Es posible pensar que un análisis de este tipo, podría constituir una investigación a nivel de posgrado.

A pesar de que este estudio contó con el aval del comité de carrera desde un comienzo dando lugar al visto bueno a la modalidad de práctica pedagógica investigativa y su posterior aplicación, hubo muchos inconvenientes al momento de implementar la propuesta. La disponibilidad de los cursos donde se pudiera trabajar con los estudiantes en formación se combinó con factores externos como la situación adversa que vivió la universidad durante el semestre 2013-2 con múltiples paros estudiantiles que hizo que la implementación y el tiempo de entrega de este estudio se extendiera más de lo previsto. Por lo que considero que ante una Universidad y Facultad que propende día a día el interés porque sus estudiantes investiguen, la

no disposición de los maestros frente a las investigaciones de los estudiantes y trabajos de grado resulta incomprensible y contradictoria para los objetivos que se trazan institucionalmente. Este hecho desde ya debería ser objeto de análisis y procurar que en cualquier otro momento las oportunidades de implementación de investigaciones dentro de la Facultad sean de fácil acceso.

## Referencias

- Arriasecq, I., & Greca, I. (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.
- Aubrecht, G. (1986). Report on the conference on the teaching of modern physics. *The Physics Teacher*, 24(9), 540-546.
- Brendel, E. (2003). Pompas de intuición y el uso adecuado de los experimentos mentales. *Ideas y Valores*, 123, 3-23.
- Dowrick, N. J. (1997). Feynman's sum-over-histories in elementary quantum mechanics. *European Journal of Physics*, 18, 75-78.
- 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.
- Gamow, G. (1997). *El país de las maravillas*. Mexico, D.F.: Fondo de Cultura Economica.
- González, E., Fernández, P., & Solbes, J. (2000). Dificultades de docentes de ciencia en la conceptualización de temas de física actual. *Simposio de Investigación en Educación en Física*, V, 138-147.
- Greca, I., & Moreira, M. A. (2001). Uma proposta para o Ensino de Mecânica Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23(4), 444-457.
- 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*, 26 – 40.
- Helm, H., Gilbert, J., & Watts, D. M. (1985). Thought experiments and physics education. *Physics Education*, 20, 211-217.
- Kalmus, P. (1992). Particle physics at A-level-the universities' viewpoint. *Physics Education*, 27(2), 62-64.
- Krey, I., & Moreira, M. A. (2009). Física de partículas, formación inicial de profesores,. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 812-833.

- Lattery, M. (2001). Thought Experiments in Physics Education: A Simple and Practical Example. *Science & Education*, 10(5), 485-492.
- Litwin, E. (2006). El currículo universitario: perspectivas. *Revista Educación y Pedagogía*, 18(46), 25-31.
- Ortiz, 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.
- 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.
- Pérez, H., & Solbes, J. (2003). Algunos problemas en la enseñanza de la relatividad. *Enseñanza de las Ciencias*, 21, 135-146.
- 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.
- Shepard, R. N. (2008). The step to rationality: The efficacy of thought experiments in science, ethics, and free will. *Cognitive Science*, 32, 3-35.
- Stake, R. E. (1998). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Ediciones Morata.
- Stannard, R. (1990). Modern physics for the young. *Physics Education*, 25(3), 133.
- Strnad, J. (1981). Pitfalls in the teaching of introductory quantum physics. *European Journal of Physics*, 4(2), 250-254.
- Swinbank, E. (1992). Particle Physics: a new course for schools and colleges. *Physics Education*, 27(2), 87-91.
- 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.
- Vicario, J. E., & Venier, F. (2010). La enseñanza de la física moderna, en debate en latinoamerica. *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería*, 20, 49-57.

## **Apéndices**

### **Apéndice A.**

#### **Cuestionario de la sesión 1**

- ¿Considera que es necesario enseñar física moderna en la escuela? ¿Por qué?
- ¿Con qué dificultades considera que puede enfrentarse un maestro que enseñe física moderna?
- ¿Cuál cree usted que es el papel de la experimentación en la enseñanza de la física moderna?
- ¿Considera que el plan de estudios de la Licenciatura en Matemáticas y Física, responde satisfactoriamente a las necesidades de los maestros en formación, específicamente en Física Moderna? ¿Por qué?

## Apéndice B.

### Experimento Mental: ¿Cómo se vería el mundo si yo viajara en un rayo de luz?

*Por Catalina Milena Macías Foronda*

Todos se quedaron viéndolo un tanto incrédulos, un tanto confundidos; pero todos con una inmensa curiosidad de saber que más iba a decir don Alfonso. Él era nuestro profesor de física y ya era costumbre que en cada clase nos saliera con una pregunta “toda loca” y que dicha pregunta no necesariamente fuera resuelta en un futuro inmediato, a veces hasta finalizar el período se podría dar respuesta a una de sus preguntas “locas”. Hoy para no desentonar, llegó con una nueva pregunta, que más bien parecía producto de su desgastada mente y hacía un perfecto acorde con los comentarios que ya se escuchaban en los pasillos de que estaba perdiendo la razón.

-Sí, ¿qué piensan ustedes? -Dijo el profesor- ¿cómo se vería el mundo si viajáramos en un rayo de luz?

-¿De qué habla profe? -Dijo Juan uno de los estudiantes de la clase.

Los demás se rieron, pero no sé si del profesor, de la pregunta, de Juan, o de que no teníamos idea para donde iba el asunto. Yo también me reí, creo que un poco de todo para no desencajar.

- Imaginen que van en un bus -Continuó don Alfonso- un Circular Coonatra cuando no tiene muchos pasajeros, casi a 20km/h.

Todos se rieron al unísono, al parecer todos nosotros hemos sufrido lo tedioso de un viaje en este bus, pero bueno, creo que ese no es el punto, quiero escuchar a dónde quiere llegar el profe.

- ¡¿20km/h?! ¡ja! Yo diría que menos profe, tal vez hasta una velocidad negativa, unos menos veinte kilómetros por hora -dijo Daniel, otro estudiante.

Se siguen riendo, y según como va esto no terminaremos hoy de imaginarnos el mundo en un rayo de luz... creo que esa era la pregunta inicial.

- Pero como eres de tonto, si fuera velocidad negativa estaría andando en reversa, y por lento que parezca el bus, no va en retroceso. –Aclaró Camila, otra estudiante.

- Bueno, ya, ese no es el punto, continúe profe, ¿qué pasa con el bus? –Dije yo- para evitar que se fueran por las ramas.

-Está bien, pero no hay problema en que hablemos de cosas que salgan en el camino, por ejemplo, la aclaración de Camila fue muy pertinente. –Dijo don Alfonso- Bien, vamos en un bus, de pie mirando la torre de una iglesia de la cual nos alejamos. En la torre hay un reloj que marca las 2:00. Nos damos cuenta de que son las 2:00, porque la información que contiene “las 2:00” llega a nosotros y podemos interpretarla. En otras palabras, vemos la hora en el reloj, porque la luz que refleja el reloj, viaja con cierta velocidad trayendo la imagen de que son las 2:00, vemos cómo avanza el segundero, y vemos que el reloj transcurre de una manera “normal”. ¿Cuál es la velocidad de la luz?

-300000 km/s profe –Dijo Camila.

-¿Eso es mucho o es poco? –Pregunto don Alfonso.

- Definitivamente es mucho, tanto así que se consideraba que la luz tenía una velocidad infinita, pero en realidad es que se mueve muy rápido. –respondió Camila.

- ¿Y los demás que piensan? –Pregunto don Alfonso

-Yo pienso que es muy rápido, a veces no podemos distinguir la velocidad de la luz cuando encendemos un bombillo, todo parece inmediato. –Dijo Andrés

-Yo creo profe, que si comparamos esa velocidad con la de cualquier bus, como en el que estamos en este momento, 20km/h es una velocidad muy pero muy grande. –dijo Juan

-Es cierto, a esa velocidad de 20km/h la información que nos llega del reloj nos parece instantánea. Pero, –Dijo don Alfonso- supongamos que podemos aumentar la velocidad tanto como se pudiera, digamos que el bus ahora va a una velocidad de 300000 km/s. ¿Qué pasa con la información que nos llega del reloj? ¿Con las manecillas del reloj?

Todos se quedaron callados por un rato, don Alfonso nos observaba queriendo una respuesta inmediata, a mí me preocupaba mi propia respuesta, porque era tan desatinada que mejor la deseché. Pensar que el “palito” que da los segundos no se movería era algo totalmente “loco”, más loco que el pobre don Alfonso.

- Pues... yo... pienso que... –Dijo Andrés- vemos el reloj como lo deberíamos ver... ¡normal!

- ¿Y los demás? –repuso don Alfonso.

- ¿Qué tiene que ver la velocidad del bus con cómo se mueven las manecillas del reloj? – Preguntó Camila.

- ¡Ah! Buena pregunta, yo no dije de cómo se mueve el reloj, sino de cómo nos llega la información del reloj –Respondió don Alfonso.

- Pensemos mejor el asunto y saquémonos de la cabeza la idea de que la velocidad de la luz es infinita. Tratemos de aumentar la velocidad del bus poco a poco, hasta llegar muy cerca a la velocidad de la luz.

- No sé profe, ¿se vería lento? –Pregunté yo.

- Si –Dijo don Alfonso- la información de que el segundero se ha movido está viajando a la velocidad de la luz, y le va a tomar más tiempo alcanzarnos conforme alcancemos su propia velocidad. Definitivamente notaremos un atraso en este reloj con respecto al reloj que tenemos en la mano. ¿Y qué pasa si alcanzamos la velocidad de la luz?

- ¿Siempre veríamos la misma hora? –Preguntó Camila.
- Con esta suposición de viajar a la velocidad de la luz, -retomo don Alfonso- tanto el rayo de luz en el que viene la información de las 2:00 con el movimiento de las manecillas y el bus en el que estamos viajando van a la misma velocidad. ¿Entonces? Efectivamente, -dirigiéndose a Camila- Siempre veríamos la misma hora, porque el siguiente rayo donde viene la información de que las manecillas se han movido, está viajando a la misma velocidad que nosotros pero más atrás y no podrá alcanzar a nuestros ojos.

- ¿o sea que es como si el tiempo se detuviera? –Preguntó otro estudiante.
- Exactamente, el tiempo se ha detenido, el reloj se ha detenido –Afirma don Alfonso-. No hay forma de que moviéndonos a la misma velocidad de un rayo de luz, las imágenes futuras del reloj nos lleguen. Siempre estaremos viendo el reloj en las 2:00.

Que extraño estaba todo eso, pero tenía lógica. Aún me negaba a creer que el tiempo se detuviera, pero esto necesitaba de un bus que viajara a la misma velocidad de la luz, cosa que es bastante utópica considerando las velocidades de los buses locales. Efectivamente, el reloj de la torre se está atrasando conforme alcanzamos la velocidad de la luz, deteniéndose por completo si llegásemos a alcanzarla.

Justo cuando parecía entender eso del reloj que se detiene, suena el timbre para cambiar de clase y don Alfonso nos da un papelito con lo siguiente:

¿Qué pasa si nos movemos más rápido que el rayo de luz? ¿Qué pasa si llevamos una velocidad menor que la luz pero cercana a ella? ¿Qué marca el reloj que llevo en la muñeca en todo momento? ¿Qué pueden decir los que están en reposo cerca a la iglesia de lo que marca el reloj? ¿Podrían ponerse de acuerdo los pasajeros del bus y los que están en la iglesia de cuánto dura una misa?

## Apéndice C.

### Cuestionario de la sesión 2

- ¿Cómo maestros en formación resulta interesante el ejercicio que se ha realizado? ¿Por qué?
- ¿Utilizaría la anterior experiencia mental en sus clases de Relatividad en la escuela? ¿Por qué?
- ¿Qué aspectos resalta de la experiencia mental construida?
- ¿Considera que la experimentación mental tiene la misma importancia que un experimento “real” o de “banco”?
- Según su criterio señale las características que debe tener toda experimentación mental.

## Apéndice D.

### Experimento Mental: Una Ciudad muy Extraña

*Por Catalina Milena Macías Foronda*

Me encuentro en una ciudad antigua, un tanto extraña, tal vez ubicada en otro planeta y universo. Nuevamente, el reloj de la torre de alguna iglesia nos acompaña, y a este punto ha marcado las 12:00 m, mientras que las calles de aquél misterioso lugar estaban deshabitadas. Excepto por un ciclista que se desplazaba lentamente por la calle, yo me encontraba en la seguridad de la acera observándolo, pero a medida que se acercaba, me parecía increíblemente extraño, como si fuera, efectivamente, de otro planeta. Tanto el joven que iba en la bicicleta, como su bicicleta, aparecían aplanados. Antes de pasar exactamente por el frente mío pude notar que el ciclista pedaleaba con más fuerza, aunque no conseguía ir mucho más rápido, si se aplanó aún más... Tanto, que parecían unas figuras que habían sido recortadas de un pedazo de cartón.

Algo extraño pasaba en este lugar, todo iba tan lento que parecía que el límite de la velocidad permitida en este lugar fuera mucho menor que en cualquier otra parte. Hay un policía de tránsito que parece aburrido, y entenderíamos perfectamente el porqué: Aquí la gente y los carros van tan despacio que es poco probable, al menos desde mi punto de vista, que alguien tenga un accidente y él tenga de qué preocuparse. Sin embargo, las figuras recortadas de un pedazo de cartón me recordaban algún suceso relacionado con la velocidad de la luz, y esto significaría que la velocidad de la luz parece tener un límite mucho menor al que todos conocemos, digamos unos 15 km/h. Y esto reafirma la actitud del policía: El límite de 15 km/h insuperable para cualquier ciudadano o carro de este extraño planeta, es demasiado pequeño,

como para que alguien vaya lo suficientemente rápido y él tenga que hacer alguna infracción por exceso de velocidad... ¡suposiciones!

Sin embargo, el misterio del ciclista aún me rondaba la cabeza. Aprovechando lo entre dormido que se encontraba el policía, tomé su bicicleta y me he decidido alcanzar al joven que había acabado de pasar, para preguntarle algún detalle que me pudiera dar alguna pista de cómo salir de este lugar. La idea de aplanarme mágicamente al montar la bicicleta, tal y como lo había visto hacía un momento en la bicicleta, me llenaba de satisfacción, pues tenía algunos excesos y unos kilos demás que venían a preocuparme de vez en vez. Salí calle abajo detrás del joven presuroso.

Pero para sorpresa mía, no sucedió nada, seguía con los mismos excesos y kilos adornándome con bastante orgullo. Tampoco la bicicleta cambio de forma o tamaño, todo en mí y en mi improvisado vehículo seguían iguales; sin embargo, alrededor mío, todo había cambiado. Las calles eran más cortas, los autos que estaban detenidos en las calles se aplanaron y el policía era el hombre más delgado que había visto en mi vida. Definitivamente, esto está más enredado que al principio.

Por más que me esforzara en aumentar mi rapidez no lo conseguía, tampoco alcanzar al joven. Todos los esfuerzos por aumentar mi rapidez parecían inútiles y no había cambiado casi nada a pesar de que mis piernas ya me dolían bastante. Aun así, las cuadras se acortaban cada vez más, y el ciclista que iba delante, parecía cada vez más cerca.

Al cabo de un momento, lo había alcanzado y pedaleábamos juntos. Era un joven normal, e increíblemente no estaba aplanado, tampoco su bicicleta. Ya ni sabía qué preguntarle a cerca de su apariencia, no tenía cómo asegurarle que efectivamente, un instante atrás parecía una figura recortada de un pedazo de cartón, mi experiencia me ha enseñado que no es buena idea hacerle ver a alguien que antes lucía más delgado; aun así, tomé valor, algo de atrevimiento y le pregunté yéndome por las ramas:

— ¡Perdone, Joven! ¿No le resulta aburrido vivir en una ciudad con un límite de velocidad tan bajo?

— ¿Límite de velocidad? —preguntó el otro, sorprendido—. Aquí no hay ningún límite de velocidad. Voy adonde quiero, tan de prisa cómo me place. Bueno, si tuviera un carro podría ir más de prisa,

—Pues iba usted bien despacio cuando pasó junto a mí hace un momento.

— ¿Ah, sí?—replicó el joven, evidentemente ofendido—. Lo que parece que no ha notado es que hemos pasado cinco calles desde que usted empezó a hablarme. ¿No le parece velocidad suficiente?

—Es que las calles se acortan —argumenté

— ¿Y qué diferencia hay entre decir que vamos más de prisa o que las calles se acortan? Tengo que pasar diez calles para llegar al correo, y si muevo más rápidamente los pedales, las manzanas se acortan y llego antes. Mire usted, ya llegamos —dijo el joven, bajándose de la bicicleta.

Miré el reloj del correo que señalaba las doce y media.

— ¡Pues bien! —dije triunfante—. ¡Sea como quiera, le llevó a usted medía hora recorrer esas diez cuadras! Cuando lo vi pasar eran las doce en punto.

— ¿Y usted notó esa media hora? —preguntó el otro. Tuve que reconocer que sólo me habían parecido unos cuantos minutos. Además, al consultar mi reloj de pulsera vi que no había pasado más que cinco minutos.

— ¡Vaya! —exclamé—. ¿Es que el reloj del correo se adelanta?

—Naturalmente. O el suyo atrasa: como que viene usted de correr un buen trecho. ¿Qué es, pues, lo que le afana? ¿Es que se ha caído de la Luna? —y luego de decir estas palabras, el joven entró al correo.

Después de eso, me sentí algo confundido y tal vez hasta burlado por este jovencito que no hizo más que hacer un juego de palabras con lo que sucedía. Ajuste mi reloj con el del correo y, para verificar que las cosas anduvieran bien me quedé diez minutos y mi reloj no se atrasó. Me sentía feliz porque mi reloj no había atrasado y estaba bien, pero me surgían más problemas en cuanto a lo que había pasado anteriormente. Seguí caminando por las otras cuadras, y sin notarlo volví nuevamente a la oficina de correos. ¡Sí que andaba perdido! Pero nuevamente me fijo en el reloj del correo y efectivamente, mi reloj se ha atrasado un poco: esto no tiene sentido.

### **Preguntas de Análisis**

1. ¿Es posible que el joven cuando pasa justo al frente del narrador perciba que parece una figura aplanada tal como ha sido descrito?
2. En términos de normal o aplanado ¿Cómo ve el policía al personaje que narra la historia cuando este está montado en su bicicleta?
3. ¿Por qué el reloj del correo parece adelantado? ¿Por qué el reloj del narrador parece atrasado?

4. ¿Por qué se desajusta el reloj del narrador cuando sale a caminar y no sucede atrasa cuando está justo en frente del reloj del correo?
5. Tanto las calles como los autos que estaban detenidos en la calle parecían diferentes. Relacione este hecho con lo aplanado que se veía inicialmente el joven de la bicicleta cuando pasa en frente del narrador
6. ¿Es realmente lento vivir en un mundo cuya velocidad límite de la luz sea de 15km/h?  
Explica tu afirmación
7. ¿Por qué el policía cuando es observado por el narrador mientras está en la bicicleta, parece ser más delgado y no más bajo?
8. ¿Por qué el joven de la bicicleta parece normal cuando van juntos en la bicicleta? ¿Por qué el narrador no se adelgazó mágicamente como esperaba?
9. ¿Cómo es posible que lleguen tan pronto al correo, sabiendo que el límite de la velocidad de la luz es tan bajo?
10. ¿Por qué no conseguían aumentar considerablemente su rapidez en las bicicletas, a pesar del esfuerzo físico que se describía?

## Apéndice E.

### Cuestionario de la sesión 3

- ¿Cómo maestros en formación resulta interesante el ejercicio que se ha realizado? ¿Por qué?
- ¿Utilizaría la anterior experiencia mental en sus clases de Relatividad en la escuela? ¿Por qué?
- ¿Qué aspectos resalta de la experiencia mental construida?
- Según su criterio señale algunas características que debe tener una experimentación mental

## **Apéndice F.**

### **Protocolo Ético**

Ante esta instancia, como asesores del Proyecto La Experimentación Mental en la Formación de Maestros de Ciencias: Una alternativa para la enseñanza de la Física Moderna en la Escuela presentamos nuestro compromiso ético con los maestros (as) en formación del curso Taller de Física. Entendemos como imperativo y deber, hacer uso adecuado y discrecional de la información recolectada en el marco de este proyecto, con el único fin de lograr los objetivos de la propuesta y en la perspectiva de contribuir con aportes para el mejoramiento de la educación en los ámbitos propios del proyecto.

El uso discrecional y adecuado de la información recogida y de su análisis, implica que la misma sólo será utilizada en el caso de publicación de la sistematización del trabajo avanzado o de una propuesta investigativa sobre algún tópico indagado en el trabajo académico desarrollado y que, en relación con ello, se evitará la alusión a nombres propios, se valorará con respeto y responsabilidad los datos aportados y, finalmente, que los análisis y resultados serán dados a conocer en primera instancia a algunos de estos participantes, para su evaluación.

Desde esta perspectiva, las personas que firman este documento autorizan al equipo asesor para que las fuentes de información como escritos, entrevistas, observaciones, etc.; se constituyan en bases de datos para los eventos señalados. Al respecto, se solicita también a los firmantes de este documento anotar, algunas recomendaciones o sugerencias que consideren pertinentes en relación con la autorización que otorgan.