

**PROBLEMÁTICAS EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA
TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD CON RESPECTO A LOS MAESTROS EN
FORMACIÓN DE LA LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA DE LA
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA**

YULY CRISTINA LÓPEZ POSADA

COLABORACIÓN

VIVIANA ALEXANDRA URREGO

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA
MEDELLÍN**

2012



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1803

**PROBLEMÁTICAS EN EL PROCESO DE
ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA TEORÍA ESPECIAL DE LA
RELATIVIDAD CON RESPECTO A LOS MAESTROS EN
FORMACIÓN DE LA LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y
FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADA EN
MATEMÁTICAS Y FÍSICA**

YULY CRISTINA LÓPEZ POSADA

COLABORACIÓN

VIVIANA ALEXANDRA URREGO

ASESORA:

LUZ STELLA MEJÍA

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA
MEDELLÍN**

2012

RESUMEN

La formación de los futuros maestros debe ser vista como objeto de estudio con el fin de mejorar los procesos de los estudiantes, es por esto razón que se realizó la presente investigación con el objetivo de analizar las problemáticas relacionadas con los procesos de enseñanza y aprendizaje de los maestros en formación pertenecientes a la Licenciatura en Matemáticas y Física con respecto a la teoría de la relatividad. A través de un estado del arte sobre las investigaciones previas en enseñanza y aprendizaje de la teoría especial de la relatividad y el análisis de las condiciones en las que se desenvuelve la enseñanza de las ciencias exactas en el contexto de nuestro sistema educativo, se pudo establecer el que tanto las dificultades en los docentes como en los estudiantes, son de igual relevancia a la hora de analizar dichos procesos cuando se proyecta plantear posibles estrategias que sirvan para mejorar las deficiencias encontradas.

Por medio de distintas formas de recolección de la información como análisis del curso de Seminario de Física Moderna a través de una observación participante, instrumentos de indagación de saberes previos sobre física moderna, manejo de conceptos básicos sobre relatividad especial, ideas y concepciones alternativas sobre la física, encuestas, entre otros, se logró delimitar en gran medida las problemáticas inmersas tanto en el proceso de enseñanza como en el de aprendizaje, lo que consecuentemente dio el paso a la creación de una propuesta de enseñanza y evaluación, que tras su aplicación dejó ver que el nivel de asimilación y conceptualización en los estudiantes mejoró considerablemente.

A continuación se expone el proceso en detalle de la investigación mencionada.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación, tiene como objetivo exponer las diferentes problemáticas encontradas dentro del proceso de formación de los estudiantes de Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia, con respecto a la teoría especial de la relatividad. Se abordan aspectos que incluyen desde la incidencia de la metodología del docente en el proceso de enseñanza y la forma cómo ésta en si misma puede representar una dificultad significativa para los maestros en formación; hasta la relación entre el proceso de aprendizaje de una teoría como la TER¹ y los aspectos que generan conflicto para los estudiantes al interior de su formación para dicha teoría en particular.

Dentro de las razones que hacen relevante el actual trabajo, se pueden contar entre otras, la necesidad indagar por la efectividad del proceso de formación al interior de la carrera, con respecto a la física moderna con el ánimo de establecer posibles alternativas que permitan elevar el nivel de profundidad con el que se apropien los conceptos por parte de los futuros maestros.

A partir de una amplia revisión bibliográfica se pudo establecer, que las dificultades al interior del proceso de formación, competen tanto a docentes, su metodología de enseñanza, los mecanismos de evaluación usados, como a las concepciones alternativas mecanicistas persistentes en los estudiantes, el tiempo empleado para el estudio de la teoría, el desacuerdo en la forma como se les evalúa, los textos utilizados para extraer los referentes teóricos y la falta de previa preparación conceptual con respecto a los tópicos tratados en el seminario de física moderna.

¹ En el desarrollo del presente texto, se hará referencia a la Teoría Especial de la Relatividad como TER.

Otro aspecto importante se encuentra en el hecho de que la TER, es un verdadero punto de reflexión en el conocimiento de la física, puesto que lo que existe como continuidad entre la física clásica y la relativista no es menos relevante que aquello que las separa. Es debido a los anteriores hallazgos que se hizo necesario proponer una nueva metodología para la enseñanza de la TER que incluyera actividades encaminadas a mejorar los procesos de conceptualización y una forma de evaluación que diera cuenta del grado de asimilación al que los estudiantes pudiesen llegar, al tiempo que permitiera reconocer las falencias y las ideas mecanicistas persistentes.

El proceso de análisis al desempeño de profesores y estudiantes dentro del desarrollo del seminario de física moderna, permitió establecer con claridad los puntos precisos en cuanto a metodología, desarrollo y evaluación del curso que debía replantearse, dando como resultado una mejoría notable en cuanto a la enseñanza y el aprendizaje de la TER.

CAPÍTULO PRIMERO

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Cuando se indaga por la enseñanza de las ciencias dentro del marco de la educación colombiana, se encuentra que ramas de la ciencia como la física moderna, específicamente el área correspondiente a la teoría de la relatividad, no se incluye dentro de la planeación curricular para ninguno de los niveles de la educación básica y media. En la educación superior ocurre algo similar, pues es notorio que la formación en esta área, sólo se ofrece en unos cuantos programas que son afines a las ciencias exactas, en los cuales se presentan los contenidos únicamente de forma introductoria, lo que genera en los estudiantes un conocimiento limitado de la teoría de la relatividad y desliga su proceso de aprendizaje de la realidad científica actual.

Por el contrario, en países alejados del contexto colombiano como España y Argentina entre otros, se ha incluido la enseñanza de la física moderna dentro de sus planes de estudio, lo que conllevó a la realización de diversas investigaciones sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje alrededor de la teoría de la relatividad.

En tales investigaciones se puede notar que autores, como Solbes, Alemañ, Pérez, Toledo, Arriasecq, Santos, por mencionar algunos, apoyan firmemente la enseñanza de la teoría de la relatividad y en general de las ciencias como un factor importante para el desarrollo intelectual

de los estudiantes, opiniones que pueden resumirse en palabras de Acevedo Díaz y Acevedo Romero (sf) en su artículo de investigación *Creencias sobre la naturaleza de las ciencias*, en el que, [...], se asume que uno de los objetivos más importantes de la enseñanza de las ciencias es que los estudiantes lleguen a adquirir una mejor comprensión de la naturaleza de la ciencia y del mundo que les rodea.

Particularmente, en el caso de la educación sobre la teoría de la relatividad, no sólo se expresa la importancia de su enseñanza, sino también algunas de las dificultades que se han encontrado tanto en el proceso de aprendizaje como en el de enseñanza.

Respecto a la enseñanza, Pérez y Solbes, (2003) constatan que cuando se ha hablado de relatividad, específicamente de conceptos como de tiempo y espacio, distintos sistemas de referencia, entre otros, [...] estos se introducen de manera inconexa, acrítica y poco reflexiva desde orientaciones epistemológicas distorsionadas. Así, la enseñanza de la teoría de la relatividad lleva consigo prácticas confusas, que desconocen las concepciones alternativas de los estudiantes; y además omiten resaltar su posición dentro de la estructura de la física; por lo que se evidencia que la importancia de la enseñanza de las teorías de la física moderna, ha perdido relevancia en los planes de estudio y cuando se incluye, se hace de una forma poco estructurada que no deja clara la existencia de las dificultades *insuperables* que originaron la crisis de la física clásica; tampoco se hace la diferencia entre ambas, ni señalan los límites de validez de la física clásica. Destacan también, abundantes errores conceptuales en los textos utilizados y concluyen que los alumnos no logran una mínima comprensión de los conceptos e ideas de la física moderna.

Otra de las características notables en dichas investigaciones, que se resalta por los mencionados autores, se refiere a que en la práctica de la enseñanza constantemente se desarrollan estrategias de aprendizaje que abordan grandes contenidos en periodos de tiempo muy cortos, lo que se convierte en una dificultad más para el aprendizaje y la enseñanza misma, ya que deja claro que el contenido de la física moderna (teoría de la relatividad para este caso en particular) no es del dominio del común de los profesores asignados para este ejercicio docente, (Pérez y Solbes, 2006), en consecuencia es lógico pensar que el grado de dificultad para la práctica educativa en esta área se torna por demás complejo, si además se tiene en cuenta que se presenta una falta de coherencia en los textos utilizados para la enseñanza de la relatividad dirigidos a secundaria, pues exponen de forma somera los conceptos básicos, mientras que los textos de carácter universitario poseen un nivel demasiado alto, inasequible incluso para los propios docentes (Alonso y Soler, 2005).

En lo concerniente a los procesos de aprendizaje, las investigaciones destacan la importancia de conocer las concepciones alternativas del estudiante en cuanto a física en general se trata, no necesariamente de conceptos o nociones específicas de la física moderna, antes de abordar el estudio de la teoría de la relatividad. Alemañ y Pérez Selles, (2000) sostienen que el genuino proceso de aprendizaje en el ser humano procede, no por acumulación simple de conocimientos, sino por sustitución de los conceptos antiguos por los nuevos, por ejemplo la transición de la física del sentido común a la física newtoniana, o por subsunción² de unos esquemas conceptuales bajo otros, como se da en el paso de la física clásica a la relativista.

² Subsunción refiere a la inclusión de un concepto que permita la extensión o comprensión de otro.

De lo anterior, puede decirse que los problemas en cuanto a los procesos de enseñanza y aprendizaje de la teoría de la relatividad son reales y siendo muy escasas las investigaciones al respecto; también es de notar que en ninguna de las investigaciones previas, se enlazan en una sola las dificultades existentes en ellos, pero sí se deja como propuesta de investigación el indagar en los programas de formación universitaria (Pérez y Solbes, 2003), así como formular estrategias que tengan en cuenta las deficiencias que se presentan en la introducción de conceptos pertenecientes a la teoría de la relatividad, como espacio-tiempo, sistemas de referencia, relatividad galileana, entre otros, al tiempo que se estudie la evolución conceptual de los estudiantes al respecto de los mismos, con el interés de ampliar la investigación didáctica, (Pérez y Solbes, 2006).

A partir de lo anterior se considera importante indagar a cerca de ¿Cuáles son las problemáticas inmersas en los procesos de enseñanza y aprendizaje con respecto a la teoría de la relatividad, que se evidencian en los maestros en formación de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia?

Otras preguntas que guían la investigación son:

- ❖ ¿Cuáles son las concepciones alternativas que tienen los maestros en formación de la Licenciatura en Matemáticas y Física respecto a los principios de la teoría de la relatividad?
- ❖ ¿Cuáles son las problemáticas existentes al interior de los procesos de enseñanza de la teoría de la relatividad?

- ❖ ¿Cuáles serían las posibles alternativas que se pueden proponer a nivel de formación de maestros dentro de la Licenciatura en Matemáticas y Física, para abordar las diferentes problemáticas encontradas dentro de los procesos de enseñanza y aprendizaje?

1.2.ANTECEDENTES

“Las palabras [...] no logran representar todo lo que ellas significan, aun así, las palabras son todo lo que tenemos” (Chimbal, 2006) por esta razón el lenguaje para describir el universo ha cambiado en muchas ocasiones, casi siempre permitiendo un mejor entendimiento de la realidad.

En el ámbito de las ciencias, concretamente la teoría de la relatividad, El lenguaje matemático ha permitido simbolizar y simplificar la teoría y los respectivos experimentos que en ella se requiere, de manera similar a un proceso de investigación experimental, pero como decía Albert Einstein las investigaciones experimentales “un día se explicaran sin fórmulas” (Reyes, 2005). Quizás no sólo las investigaciones experimentales sino además las teorías en general, es decir, se vincularán la matemática y la física como lenguajes comunes, empíricos, sin embargo, mientras se alcanza ese momento es menester brindar explicaciones adecuadas para los diferentes fenómenos que rodean a los seres humanos; dichas ilustraciones se realizan en diferentes escenarios, entre ellos la escuela; entonces, en el momento en el cual el maestro piensa ¿Cómo enseñar las diferentes temáticas particularmente la teoría de la relatividad? se debe tener presente que “[...] el conocimiento científico se construye por procesos de creación y comprobación de teorías que cambian y evolucionan históricamente y que sólo son aproximaciones tentativas y parciales sobre determinados aspectos de la realidad.” (Acevedo Díaz y Acevedo Romero, sf)

Entre los cambios que se han dado en la física, la relatividad es primordial, ya que posibilita el desarrollo de las sociedades modernas, potencia los procesos cognitivos y perfecciona el entendimiento del mundo, en esta proporción es necesario pensar procesos adecuados para enseñar relatividad, los cuales “deberían contribuir a ensanchar en la mente del estudiante su visión de ciencia y universo.”(Alemañ y Pérez; 2000)

Además de analizar las dificultades de aprendizaje existentes en los estudiantes, en este aspecto Solbes y Pérez, (2003), exponen que “La enseñanza de la teoría de la relatividad se realiza de forma poco clarificadora, sin tener en cuenta las concepciones alternativas de los alumnos y sin resaltar su posición en la estructura de la física.” Aunque algunos autores como Alemañ Berenguer, Rafael Andrés y Pérez Selles, J.F. han expuesto que:

Las dificultades que encuentran los estudiantes para asimilar el punto de vista de la teoría de la relatividad, se deben generalmente a su falta de hábito en concebir el mundo físico como un entramado espacio-temporal de cuatro dimensiones. [...] no resulta en extremo complicado plantearles las ideas fundamentales de la relatividad en contraste con las de la física clásica.

Esta propuesta es apoyada por varios autores como Zea. R; M. J en el artículo *Por una concepción moderna de la enseñanza de la física*; quienes presentan una descripción de diseños experimentales apoyada por propuestas de modificaciones temáticas.

Algunas de las diferentes propuestas en torno a la enseñanza y el aprendizaje de la teoría de la relatividad, donde resaltan la importancia de materiales especializados para los docentes como libros de texto o applets contextualizados; este es el caso de los autores Manuel Alonso Sánchez,

y Vincent Soler Selva, quienes exponen una descripción detallada de estos elementos, además de Héctor Pérez y Jordi Solbes (2003) quienes argumentan que “Puede ser interesante indagar en los primeros niveles de enseñanza universitaria, lo que permitirá profundizar en aspectos cuya complejidad y extensión exige una mayor madurez y que adicionalmente iluminarían estrategias transferibles a la secundaria”.

En este punto, cabe preguntar por ¿Quién(es) han elaborado propuestas que relacionen los procesos de enseñanza y aprendizaje de la teoría de la relatividad? Ya que los diferentes procesos y variables son analizados desde disímiles perspectivas, se presentan heterogéneas propuestas tanto para los procesos de enseñanza como para los de aprendizaje, pero al parecer ninguna vincula ambos elementos.

1.3.JUSTIFICACIÓN

“La inteligencia se emplea en la búsqueda de alternativas. Soñar, construir imaginariamente otros mundos, pesar opciones, no es fútil sino serio; es poner en funcionamiento una habilidad que ha demostrado ser útil en la lucha, [...]” (De la torre, 1996), en la edificación del conocimiento y las teorías científicas que sostienen el mundo. En concordancia con esta idea, lo que se está requiriendo con la enseñanza de la relatividad al estudiante, es la superación del mismo. Según Colombo (1995), a pesar de las limitaciones que poseen los estudiantes en contraposición con los sistemas conceptuales proporcionados por la física clásica y por el sentido común, que característicamente son poco estructurados y con una pobre interrelación además de tener gran incoherencia; la asimilación de un sistema científico de gran validez y consistencia,

provee un desarrollo intelectual que permite el acceso a conocimientos más complejos, con el fin de que a través de un marco intelectual desarrollen otra visión del mundo.

La construcción de los conocimientos científicos se da por medio de procesos creativos, sujetos a la comprobación de las teorías generadas dentro de ellos, pues éstas cambian a través del tiempo, exigiendo con ello mejores explicaciones de los diferentes fenómenos que se presentan en el entorno; lo que sugiere cambios en las formas como se enseñan actualmente las teorías, para que la educación sea coherente con la realidad que se tiene en el presente, pues ésta siempre va a existir sin importar lo que se piense de ella (Acevedo Díaz y Acevedo Romero, s.f). En palabras de Lorenzo de la Torre (1996), la realidad, es la teoría que cada persona tiene para explicar y comprender el mundo que conoce. Ahora, al enlazar ambas ideas se puede decir, que lo correcto es darle a cada individuo en la medida de lo posible, herramientas del conocimiento científico suficientes para que su interpretación del mundo sea la más cercana posible a la realidad existente en el momento, pero sin que tales interpretaciones entren en conflicto con lo funcional de las teorías que se enseñan por su aplicabilidad.

Ahora, se parte de que existe una relación entre el desarrollo cerebral y la variedad de alternativas que son ofrecidas a los individuos para que éstos puedan tomar decisiones, se puede pensar consecuentemente, que “mientras más variadas son las alternativas, más desarrollo se exige de la inteligencia y, similarmente, a mayor inteligencia, más apetito hay de opciones nuevas” (De la torre, 1996). De esta manera, una de las funciones implícitas de la educación, será entonces la de exigir el desarrollo mental de los estudiantes a partir de los conocimientos que se ofrecen tanto en la educación media como en la educación superior. Pero, ¿qué pasa si esos

conocimientos están desfasados de la actualidad científica?; pues como consecuencia lógica, la exigencia al desarrollo del pensamiento también será desactualizada, situación que se hace notoria en las manifestaciones de desinterés hacia el aprendizaje y en la forma como se llevan a cabo los procesos dentro del aula, que eventualmente son reflejados al interior de la cultura de la sociedad y su desarrollo. En conjunto, podrían considerarse razones suficientes para empezar a incluir la enseñanza de las teorías físicas modernas dentro de los planes de estudio.

Con todo lo anterior, la defensa de la enseñanza de teorías como la de la relatividad se hace menos ardua, pues forma parte de las teorías físicas fundamentales que según Pérez y Solbes (2003), proporcionan un marco científico e intelectual, en el interior de cual deben ser elaboradas todas las teorías nuevas. De esta manera empieza a construirse una visión más correcta del desarrollo de la ciencia, en la que se evitan visiones lineales y acumulativas del conocimiento, al tiempo que se mejora la comprensión de la propia física clásica al mostrar los límites de validez y las diferencias entre ellas; además de que se proporciona al estudiante referencias de la cultura científica actual.

Siguiendo esta línea de pensamientos, se toma la enseñanza y el aprendizaje de la teoría de la relatividad, como una oportunidad para reflexionar acerca de la creación de la ciencia, la evolución de los conceptos, al mismo tiempo que ilustra sobre las relaciones entre la física, la cultura y la sociedad, (Pérez y Solbes, 2006).

Con respecto a la utilidad y beneficio que el aprendizaje de la relatividad ofrece a los estudiantes, se puede decir que permite el desarrollo de un pensamiento más estructurado,

superando así, las concepciones intuitivas; además incrementa las actitudes positivas respecto a la asimilación de los contenidos académicos. Ahora, cuando se trata específicamente de conceptos inmersos en esta teoría, la mejora de la comprensión de espacio-tiempo como la existencia de una cuarta dimensión es sustancial, de igual manera, la equivalencia masa-energía y el papel de los principios de conservación en los fenómenos energéticos se hacen más claros, (Pérez y Solbes, 2006).

Por último, se asume prudente y oportuno, para superar el desinterés de los estudiantes hacia el aprendizaje de las ciencias, comenzar con una enseñanza de las ciencias más contextualizada en la sociedad y el entorno, de manera que sea útil, actual y participativa para sus actores, pues en últimas lo que se pretende es que toda esta enseñanza ayude a ensanchar la mente de los estudiantes, al igual que su visión de ciencia y universo (Alemañ y Pérez, 2000).

CAPÍTULO SEGUNDO

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GENERAL

Analizar las problemáticas relacionadas con los procesos de enseñanza y aprendizaje de los maestros en formación pertenecientes a la Licenciatura en Matemáticas y Física con respecto a la teoría especial de la relatividad.

2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❏ Caracterizar las concepciones alternativas de maestros y estudiantes frente a la relatividad.
- ❏ Identificar y describir las problemáticas existentes con respecto a los procesos de enseñanza.
- ❏ Proponer una posible alternativa con miras a mejorar las dificultades encontradas para la enseñanza y el aprendizaje de la relatividad.

CAPÍTULO TERCERO

REFERENTES CONCEPTUALES

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. ESTADO DEL ARTE

El presente estado del arte se elaboró a partir de una revisión bibliográfica, donde se rastrearon dos elementos primordialmente: Las estrategias de enseñanza y las de aprendizaje de la teoría especial de la relatividad. Estos elementos se rastrearon en tres tipos de fuentes básicamente: textos impresos, textos y artículos digitales además artículos de la base de datos de la universidad de Antioquia, es importante resaltar que todos los artículos rastreados se encuentran entre el rango de tiempo de 1981 y 2011 (Anexo N°1), además que los países en los cuales se realizaron las investigaciones y los artículos empleados en el presente estado del arte son principalmente Estados unidos, Brasil, Argentina y España, entre otros.

Con el fin de facilitar la organización y codificación de las diferentes investigaciones y conceptos relacionados con los procesos de enseñanza y aprendizaje de la teoría de la relatividad, para la construcción del estado del arte se elaboraron las siguientes categorías y subcategorías: La primera de ellas recopila lo referente a ideas, esquemas mentales y demás imaginarios que poseen los estudiantes para explicar e interpretar los diferentes fenómenos físicos que observan, por tanto la categoría se denominó *Concepciones alternativas*³ sobre la moderna, adicionalmente

³Se ha designado el término *concepciones alternativas* dentro de este texto, como forma de llamar o nombrar todas las ideas previas y sus equivalentes, ya que es la forma en la que a ellas se refieren en la actualidad, además de que

se crearon necesariamente subcategorías correspondientes inicialmente a las concepciones alternativas tanto explícitas como inconscientes (implícitas) de los estudiantes acerca de la física, además aquellas concepciones alternativas que generan conflicto con los conceptos de la teoría de la relatividad; la segunda de las categorías reúne información acerca de los diferentes procesos concernientes a las prácticas de enseñanza utilizados para el ejercicio docente en el área de la teoría de la relatividad y se denominó, enseñanza de la teoría de la relatividad. En esta categoría también se incluyeron tres subcategorías: la primera se refiere a las dificultades manifestadas por los docentes, segundo las perspectivas pedagógicas y didácticas acerca de la teoría de la relatividad y por último los libros de texto utilizados en la enseñanza de los fundamentos y principios de la teoría de la relatividad.

La tercera categoría contiene la información concerniente a los procesos de aprendizaje de la TER que facilitan o dificultan la enseñanza de dicha teoría, la información ha sido clasificada en tres subcategorías dispuestas como: las dificultades manifestadas por los estudiantes, las propuestas o perspectivas pedagógicas y didácticas de enseñanza para el aprendizaje de la TER y los materiales impresos o virtuales diseñados para el aprendizaje de la teoría de la relatividad. Por último, la cuarta categoría empleada en la elaboración del presente estado del arte corresponde a aquellos elementos teóricos específicos de la teoría de la relatividad que debe manejar el sujeto para que considerarse apta para enseñar dicha teoría; ésta categoría se denominó concepción teórica de Albert Einstein y otros autores de los principios y fundamentos básicos de la teoría de la relatividad.

no denomina una subjetivación o predisposición sobre la validez de las interpretaciones analizadas o expresadas de los estudiantes.

Adicionalmente con el fin de facilitar la manipulación de esta información se organizó en cuatro subcategorías que fueron: Fundamentos básicos para la comprensión de la teoría de la relatividad, Concepción teórica de Albert Einstein de los principios de la relatividad, Otras interpretaciones de los principios de la relatividad de Einstein y finalmente Artículos relacionados con los fundamentos de la teoría de la relatividad

Sobre las concepciones alternativas sobre la teoría de la relatividad

El estudio de las concepciones alternativas que albergan los estudiantes como interpretación de los fenómenos físicos (naturales), se ha constituido como una de las líneas de investigación de mayor importancia en cuanto a los procesos de enseñanza y aprendizaje se refiere, (Driver, 1996). Tales ideas han sido nombradas de diversas maneras, *teorías ingenuas*, *esquemas mentales*, *concepciones alternativas* e incluso *ciencia de los niños*, pero sin importar cuál sea la denominación que les sea asignada, se reconoce que al momento de iniciar el proceso de enseñanza de la física y sus fenómenos, aun cuando fuera de manera conceptual; son precisamente estas concepciones alternativas, parte de los mayores obstáculos para el aprendizaje de los estudiantes, indistintamente del grado de escolaridad al que pertenezcan. La tendencia que muestran tanto los estudiantes de la enseñanza media como los de nivel universitario en la interpretación y posible explicación de los fenómenos que observan, da cuenta de que los errores conceptuales acerca de -por ejemplo- las causas del movimiento, el efecto de la fuerza sobre un cuerpo, la influencia de la gravedad en los cuerpos, entre otros, guardan sus fundamentos en la coherencia interna que para ellos tienen las explicaciones que formulan desde su imaginación.

Desde la década de los años 80, autores como Solbes, Calatayud, Climent, y Navarro, se preocuparon por estudiar las condiciones de los estudiantes en cuanto al aprendizaje de las teorías de la física moderna, fundamentados particularmente en estas investigaciones, en que las concepciones alternativas que poseen los estudiantes respecto a su entorno, son un factor de gran influencia en cuanto a las dificultades de aprendizaje que los jóvenes presentan con respecto a esta rama de la ciencias. A su labor, se han sumado en las últimas dos décadas Alemañ, Rafael, Pérez Selles, Toledo, Arriasecq y Santos, entre otros; todos presentando el mismo interés específico en la influencia de las concepciones alternativas y la manera como se han tratado al interior de los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Estas *concepciones alternativas* son difíciles de modificar desde la perspectiva del modelo de enseñanza tradicional; además se encuentra que los conceptos no son sustituidos unos por otros, sino que tanto las ideas antiguas como las nuevas, encuentran la forma de coexistir al mismo tiempo, causando el mínimo de conflicto en la mente de los estudiantes.

Otro aspecto que se ha hecho evidente en las investigaciones sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje de la relatividad, como dificultad presenta para los estudiantes; se refiere a la incapacidad de concebir el mundo físico como un entramado espacio temporal, pues la idea de las componentes geométricas euclidianas del propio espacio limitan la comprensión de las cuatro dimensiones, situación que se agrava con la resistencia de los pensamientos de la física newtoniana a ser modificados por lo fuertemente arraigados en sus procesos de pensamiento.

Sobre los Procesos de enseñanza

La introducción a teorías como la de la relatividad, ha tenido que someterse a procesos de reflexión que permitan analizar cuáles son las estrategia más adecuadas para realizar los acercamientos iniciales a la teoría de la relatividad, pues a pesar de las varias propuestas y modelos de enseñanza, los resultados en cuanto a la apropiación y comprensión de los fundamentos relativistas han sido lejos de los esperados. A pesar de que las dificultades que se presentan en la enseñanza se han estudiado con fin de diseñar propuestas direccionadas a solucionar o minimizar su influencia en el proceso de aprendizaje, los diferentes modelos presentados mantienen ciertas derivaciones en común, como por ejemplo que la transición del pensamiento newtoniano al relativista, no es logrado por la mayoría de los estudiantes debido al arraigo de las concepciones anteriores, que convincentemente explican todo cuanto se observa.

Con el propósito de mejorar las prácticas de enseñanza de la relatividad, diferentes pedagogos y teóricos han elaborado diversos tipos de unidad didáctica para la secundaria, algunas basadas en applets y simulaciones como es el caso del trabajo de Alonso Sánchez y Soler Selva, en su propuesta del 2005, para la que además desarrollaron un libro guía completo que sirviera tanto a estudiantes como docentes, por su tratamiento asequible de los fundamentos relativistas. Además de ellos, se unen al desarrollo de propuestas autores como Solbes, Pérez y Alemañ, quienes hicieron sus aportes desde la historia de las ciencias, la formación de profesores y la evolución histórica de los conceptos relativistas.

Sobre los Procesos de aprendizaje

Con respecto a los procesos de aprendizaje, las investigaciones se centraron en profundizar las dificultades manifestadas por estudiantes y docentes, las causas de desinterés en el aprendizaje

de las ciencias en general y las propuestas de cambio conceptual. Por otra parte, se han generado propuestas que defienden el mantenimiento de la introducción de la enseñanza de la relatividad en el bachillerato, argumentando que la importancia de su aprendizaje no solo radica en el hecho de ser una de las teorías de interés actual, sino además por la acción que tiene en el desarrollo del pensamiento de los estudiantes.

Otro de puntos a destacar con respecto a las propuestas en este campo, corresponde a la introducción en el uso de software, apoyados en materiales impresos como guía para profesores y estudiantes.

Sobre la Concepción teórica de Albert Einstein y otros autores de los principios y fundamentos básicos de la teoría de la relatividad.

En el año de 1905, Albert Einstein presentó cuatro de artículos que cambiarían la forma de ver la física para siempre. El primero de ellos fue “El efecto fotoeléctrico”, al que le siguió “Movimiento browniano”, el cuarto artículo de ese año se tituló “Equivalencia masa-energía”; pero es el tercero el que ocupa la atención en esta ocasión: “Teoría de la Relatividad Especial”. Estos son llamados los artículos del "Annus Mirabilis", y gracias al primero de ellos, en 1921 recibió el Premio Nobel de Física.

Einstein desarrolló publicaciones de tipo divulgativo de sus teorías con el interés de que aun las personas que no poseían un vasto conocimiento en física, pudiesen acceder a estos nuevos conocimientos sin necesidad de entrar en la rigurosidad del formalismo matemático sobre el que se soportan sus teorías. Pero Einstein pese a ser el creador y el primero en divulgar la teoría de la relatividad, no fue el único, sus textos fueron traducidos y tomados como la base de diferentes

trabajos en el campo de la educación. lo que presentan en común los textos de divulgación que se revisaron hasta el momento, es su carácter descriptivo, la presentación de los fundamentos y principios de la teoría, se hace de manera detallada, aunque manteniendo la distancia del lenguaje estrictamente formal, incluso se encuentra común que gran parte de las ejemplificaciones se hacen con elementos y situaciones de la vida común, de manera que la información se presenta contextualizada en ambientes del dominio de un lector cualquiera.

3.2.FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En el marco del presente trabajo, se han seleccionado como conceptos principales a desarrollar, *la velocidad de la luz, la dimensión espacio-tiempo, la gravedad* y en relación estrecha con ellos *el movimiento*. El desarrollo de este marco teórico tiene como propósito, mostrar desde la evolución histórica de dichos conceptos, las diferentes visiones que se han tenido de cada uno dentro de la evolución conceptual de la física, bajo la intención de poder ubicar las concepciones de los participantes dentro de alguna de las concepciones presentadas.

Los fundamentos de la física:

A lo largo de la historia de la humanidad darle un sentido explicativo a la realidad, interpretar los fenómenos observables dentro de sus causas y las consecuencias de sus efectos, así como dilucidar teorías acerca de cómo funciona el mundo, es claramente lo que ha posibilitado la creación y el desarrollo de los conocimientos científicos, siendo así lógico encontrar estas interpretaciones desde épocas tan lejanas como la antigua Grecia; tales interpretaciones y teorías se refinaron con el paso del tiempo, dejando la fantasía y los supuestos de la imaginación para fundarse en lo demostrativo y verificable de los hechos, no importando si tales demostraciones

se producen en un tiempo posterior a la proposición de sus respectivas teorías, como en el caso de la teoría de la relatividad de Einstein, para el cual resultó tanto más complicado probar de manera tangible la posibilidad de fiabilidad de sus postulados.

Pero para que Albert Einstein pudiera llegar a la formulación de sus postulados, redefiniendo las concepciones científicas que prevalecían en la época, los conceptos principales de su trabajo pasaron por cierta “evolución” en el transcurso de la historia de la ciencia, tales como lo son *la gravedad, el espacio y el tiempo, la velocidad de la luz y el movimiento (como concepto asociado a los anteriores)*; entre otros.

La gravedad:

El primero en plantearse seriamente esta cuestión fue Aristóteles en la antigua Grecia. Según su interpretación, el fenómeno gravitacional se debe directamente a los elementos existentes en el mundo, éste entonces está compuesto por cuatro elementos fundamentales: tierra, agua, aire y fuego; y cada uno de estos elementos presenta una posición natural en el universo, hacia la cual se dirige el movimiento de los objetos al momento de ubicarse en alguna posición.

En esa visión del universo, la tierra se situaba en el centro, el agua encima como una capa cubriendo la tierra, el aire ocupaba una tercera posición arriba del agua y el fuego al último lugar. La tendencia de los cuatro elementos era intentar volver a su posición inicial; así los elementos pesados como el agua y la tierra, deberán dirigirse al centro, mientras los elementos ligeros como el aire y el fuego se moverían hacia fuera, cada uno buscando el lugar que naturalmente le correspondería dentro de esta organización. De acuerdo con esta teoría, un objeto

como una roca, que según Aristóteles estaba compuesto principalmente de tierra y en menor medida de agua, al situarse a una determinada altura y ser dejado libre, presenta una tendencia a ir hacia el centro del universo, cayendo *naturalmente*. En el caso de la madera que arde en una hoguera, el carbón se quedaba junto al suelo, por estar compuesto de tierra, mientras que el fuego era repelido al exterior, por encima del aire, en busca de su posición natural en el universo.

Se suma a lo anterior que Aristóteles, tenía la visión de que la velocidad de caída de los objetos dependía específicamente de su peso, así cuanto más pesados, estos caían a mayor velocidad, lo que indicaba que contenían mayor cantidad de tierra y agua, y consecuentemente debían estar más atraídos. Con respecto al fuego y su tendencia a elevarse, pues era *obvio* que en un fuego violento las llamas eran mayores, y *lógicamente* ellas regresarían a mayor velocidad hacia la capa más elevada del universo.

Esta visión del mundo, incluía los cuerpos celestes conocidos en el momento, así, la Luna, el Sol, los planetas y las estrellas se asumían como elementos en esferas celestes giratorias en torno a la Tierra; todos ellos estaban situados por encima de la capa exterior de fuego y su composición era principalmente de un quinto elemento, llamado éter. Todos estos astros mantenían su posición en esferas en cuyo centro se situaba la Tierra. Para continuar en movimiento, los astros no necesitaban de fuerza alguna, ya que su movimiento se consideraba invariable, desde el momento en que todo fue creado.

Las explicaciones aristotélicas sobre la gravedad no fueron replanteadas sino hasta que en la edad media Copérnico hizo saber a la humanidad, que la Tierra no estaba en el centro del

Universo, si no que ella era uno de los muchos planetas que giraban en torno al Sol. Tras haber roto el modelo geocéntrico, se repensó además, la cuestión de la gravitación y preguntas como ¿Por qué los objetos permanecen sobre la superficie de la Tierra mientras ésta gira sobre su eje en lugar de salir despedidos? y ¿Cómo es posible que la Tierra gire alrededor del Sol sin que haya nada que la impulse?; dieron paso a nuevas conceptualizaciones basadas en los experimentos de Galileo acerca de la naturaleza de la gravedad. Para su realización pasó semanas tirando distintos objetos desde la Torre inclinada de Pisa, con lo que comprobó que independientemente de su masa, tamaño y forma, los objetos tardaban el mismo tiempo en llegar al suelo cuando se lanzaban desde la misma altura. Además, consiguió demostrar que la afirmación de que los objetos caían con velocidad constante era falsa. Según Galileo, todo objeto que caía desde la Torre de Pisa, compartían la misma rotación que experimenta la Tierra y por ende la torre. Con ello, suponía que los objetos que estaban en movimiento, mantenían ese movimiento aunque a él se añada otro. Fue este mismo principio el que le llevó a suponer que los planetas se mantenían en movimiento alrededor de la Tierra por “inercia”, así, los planetas en algún que algún momento fueron puestos en movimiento alrededor del Sol, mantendrían su movimiento circular para siempre dentro de la misma órbita. Pese a todos sus experimentos, Galileo no pudo dar una razón que explicase la fuerza que atraía los objetos hacia la superficie de la Tierra, ni tampoco de cómo los planetas comenzaron a girar en torno al Sol

Para poder llegar dar una explicación a tales cuestiones, no fue únicamente el trabajo de Galileo el que despejó el camino. Desde que las contribuciones del heliocentrismo copernicano pusieron en crisis el sistema físico que había predominado desde Aristóteles, y a pesar de ser sustentado por la escolástica medieval en la que se acomodaba perfectamente la astronomía

geocéntrica de Ptolomeo, para Kepler no supuso inconveniente el eliminar los epiciclos, deferentes y excéntricas ptolemaicas que apoyaban el modelo copernicano, en su lugar argumentó que el movimiento elíptico era el que describía correctamente el movimiento planetario; dando paso a una nueva física que podía ser aplicable al movimiento de los cuerpos sobre la tierra aunque no pudiese proponer una mecánica celeste. Pese a esto, sus ideas fueron el inicio para la construcción de dicha mecánica. Mientras tanto, en otro lugar Descartes proponía la idea de inercia lineal en contraposición a la idea galileana de tipo circular.

El espacio y el tiempo:

A quien no es matemático lo sobrecoge un misterioso escalofrío cuando oye hablar de objetos "cuatridimensionales" como si se tratara de conceptos ocultos. Y, sin embargo hay afirmación más trivial que decir que nuestro mundo es un espacio-tiempo continuo cuatridimensional.

Albert Einstein

El espacio y el tiempo por muchos siglos fueron considerados como dos variables que sólo se relacionaban a través de medidas de velocidad y aceleración, incluso si se mira desde muchos siglos atrás, se puede ver la evolución de tales conceptos individualmente hasta que llegan a ser definido como la cuarta dimensión, *la dimensión espacio-temporal*.

En la Escuela de Atenas, se encuentra un buen ejemplo de la técnica de la perspectiva, que es como fue considerado el espacio en sus inicios; expresado de una manera gráfica, de lo que se trata es de *pintar el espacio*. Desde cierto punto vista, el tiempo se encuentra implícito en esta obra, pues entre otras cosas, es un juego con él, ya que de alguna manera es detenido para todos los filósofos y demás pensadores en una eternidad pictórica. Es el espacio el que propicia toda

obra atemporal, y que se escapa al infinito del orbe celeste en una línea de fuga espectacular. Es en el espacio de la perspectiva, en el que se hace posible el prodigio de la matemática clásica aplicada al arte y a la técnica en el renacimiento, desde ella nace *La Matemática de Euclides*, la Matemática del espacio lineal. La matemática del espacio euclideo, desarrollada ampliamente en el Renacimiento, es una de las claves del pensamiento Moderno, tanto para las ciencias naturales como para las ciencias humanas y el arte. El espacio matemático es pensado como espacio vacío y considerado un absoluto explicativo, a partir del cual se construye la realidad, no sólo la pictórica o artística, sino la realidad de la naturaleza. Hasta este momento, el tiempo sigue siendo considerado como una variable cuantificable a través de instrumentos y convenciones de medición, y todavía en el Renacimiento, Galileo Galilei (1564-1642), expresa esta concepción en la aplicación y desarrollo matemático respecto al espacio y el tiempo con su *cinemática*. Argumenta que la naturaleza puede ser explicada sólo por medio de espacio matemático y velocidad, la cual define como relación matemática espacio-tiempo; según éste, el universo todo está escrito en caracteres matemáticos. Para Newton, ya en el siglo XVIII, espacio y tiempo serán absolutos y considerados como los fondos permanentes sobre los que se mueve el engranaje del universo.

El espacio:

Las hipótesis fundamentales sobre las que descansa toda la estructura de la física, son producto de las observaciones del hombre y la expresión de su comprensión del mundo, inicialmente, sobre las consideraciones que pudo hacer acerca de tiempo, espacio y la materia. De aquí se obtienen los pilares fundamentales sobre los que se sostiene toda la construcción de la ciencia.

Las investigaciones filosóficas, antropológicas y arqueológicas muestran que el pensamiento primitivo era incapaz de abstraer el concepto de espacio de la experiencia espacial; pues no pasaba de ser un *simple* conjunto accidental medianamente ordenado de orientaciones, que era asociado con el espacio social o común al grupo. Por tal razón no es de extrañar que en las primeras sociedades ni las longitudes ni las áreas así como tampoco los volúmenes pudieran ser concebidos desde lo abstracto. El espacio entonces empezó a ser objeto de investigación inicialmente de una manera filosófica y uno de los primeros en abordar esta cuestión como en el caso de muchas otras, fue Aristóteles, al que siguieron los pitagóricos quienes afirmaron la existencia del vacío como el elemento que *delimita* las naturalezas, da una separación entre dos seres consecutivos, además de ser también lo que delimita la naturaleza de los números. Ahora, según Demócrito, la influencia del espacio no sólo es inherente al concepto mismo, sino que puede ser deducida a partir del número infinito de átomos existente, pues aunque sean indivisibles poseen magnitud y extensión determinadas, muy a pesar de que no sean perceptibles por nuestros sentidos. Esta idea de la existencia del vacío insistentemente reiterada por los atomistas, estaba en contra de la idea de Parménides y Meliso, quienes consideraban que el universo era un pleno compacto continuo e inmutable. Aseguraban además que no hay nada vacío, ya que el vacío no es nada y la nada no puede existir. Pero pese a esto, Leucipo y Demócrito mantuvieron la idea del vacío como una conclusión lógica de la suposición atómica de la realidad.

Leucipo sostenía que la naturaleza está fundada en dos cosas: una, la existencia de cuerpos y dos, la existencia del vacío en el que estos cuerpos se sitúan y a través de él se mueven. Luego llega Lucrecia y con ella el espacio se convierte en un infinito receptáculo de los cuerpos; además su convicción en la influencia del espacio la llevaba a afirmar que si el espacio no fuera

infinito en el curso de la eternidad ya transcurrida, toda la materia inevitablemente se habría sumergido en el fondo, que para ella estaba dotado incluso de dirección vertical, lo que la conlleva a establecer que es en esta misma dirección en la que los átomos se corren a lo largo del espacio en líneas paralelas, así, el espacio sería homogéneo pero no isotrópico.

Por otro lado, Platón llega proponiendo que la materia tiene que identificarse con el espacio vacío, asumiendo que un cuerpo físico no es más que una parte del espacio limitada por las superficies geométricas que lo circunda, y estas no contienen nada fuera del espacio. Con Platón la física se convierte en geometría al igual que con los pitagóricos se había convertido en aritmética.

Aristóteles asocia entonces el espacio con una cantidad continua como el resultado de la suma de todos los lugares que ocupa los cuerpos, pues entiende *lugar* como esas partes del espacio cuyos límites coinciden con los del cuerpo ocupante. De esto se derivan cuatro supuestos primarios relacionados con el concepto de espacio que Aristóteles llamó *lugar*:

1. El lugar de una cosa no es parte o factor de la cosa sino que la abarca.
2. El lugar inmediato o *propio* de una cosa no es mayor ni menor que la cosa.
3. El lugar en el que está la cosa puede ser dejado por ella y por lo tanto es separable de ella.
4. Todos y cada uno de los lugares implican e involucran las relaciones de *arriba* y *abajo*, así como que todas las sustancias naturales tienen una tendencia natural a moverse hacia sus propios lugares particulares o a permanecer en ellos cuando están ahí.

De ahí que no defina el espacio estrictamente, sino más bien lo toma como una extensión continua y finita al igual que la materia.

Muchos siglos después, en el contexto de la física ya desarrollada, luego de pasar por las conceptualizaciones previas al renacimiento, se encuentra el *espacio* en la física clásica. Aquí el espacio es considerado como un medio homogéneo que existe objetiva e independientemente de su contenido físico. Newton en sus *Principia*, lo asumen como absoluto en su propia naturaleza, sin relación con nada externo permanece igual e inmóvil. Antes de él, ya otros habían considerado el espacio con la misma idea, como Pierre Gassendi, Henry More, Telesio y Campanella, pues tal concepto se hallaba naturalmente presente en el atomismo antiguo. Luego la materia fue definida como *plenum-espacio* ocupado en contraste con el vacío o espacio desocupado, pudo establecer la distinción entre el recipiente inmutable e independiente y su contenido físico variable, entendido como la propia materia aunque en su esencia se considera invariable continuamente e inmutable.

Por otro lado, en relación con la independencia e inmutabilidad propias del espacio está la homogeneidad, que se estableció como hipótesis tan pronto como se separa el espacio de su contenido físico al igual que los atomistas griegos. Toda la diversidad cualitativa del mundo es consecuencia de las distintas posiciones, formas y movimientos de la materia y no de ninguna diferenciación intrínseca del propio espacio. Ya en el siglo XVIII se dice que el espacio permite distinguir dos sucesos simultáneos cualitativamente idénticos, pues dos objetos simultáneamente percibidos sólo pueden ser numéricamente distintos si están en dos lugares diferentes. La evolución del concepto continuo, hasta que ya en la física moderna los sistemas de coordenadas pasan a ser una *ficción* útil, en la medida en la que el cuerpo de referencia no nada más es accesible a nuestros sentidos, sino que depende del espacio relativo. Así la homogeneidad del espacio implica que todas las posiciones de un cuerpo sean equivalentes en el espacio clásico,

también se refiere a su divisibilidad infinita como la relación de yuxtaposición universal que relaciona a cualquier pareja de puntos por muy cercanos que se encuentren.

Este pensamiento se mantuvo por unos años, y en el momento en el que se retomó la cuestión de pensar en el tiempo se hizo necesario volver sobre la cuestión del espacio

El tiempo:

Desde el comienzo de la humanidad civilizada, el Tiempo como variable intangible pero permanente ha fascinado, intrigado e inquietado a cada ser pensante sobre la Tierra. El Tiempo avanza siempre incluso en ausencia de todo movimiento; su irreversibilidad e inexorabilidad son la razón de que gran parte de las ciencias se haya dedicado a estudiarle y cuantificarle, y de paso no sin dejar de recordarle a cada individuo su propia mortalidad.

El concepto de tiempo ha evolucionado la par con la *evolución del pensamiento de la humanidad*; en las culturas de la antigüedad se encuentran don visiones diferentes de lo que es el Tiempo: La primera se refiere a una concepción de Tiempo cíclico, tanto a escala humana como cosmológica, popular entre los pueblos hindú, griego, chino e incluso para culturas más propias de este lado del mundo como los mayas y aztecas. Por otro lado, el Tiempo es tomado de una forma lineal con principio y fin bien establecidos; tales interpretaciones corresponden inicialmente al pueblo judío cuya inspiración viene dada por el Zoroastrismo⁴, la cual más tarde es heredada posteriormente por el Cristianismo y el Islam.

En la Grecia antigua, la noción del tiempo subjetivo fue introducida por Aristóteles, afirmaba que el Tiempo era una medida del movimiento siendo este último una entidad abstracta. Según el filósofo, la capacidad de desplazamiento de un cuerpo dependía del sometimiento a condiciones

⁴ Reforma de la religión practicada por tribus de lengua iraní que se instalaron en Turquestán occidental entre el II y el I milenio a.C. Estas tribus estaban estrechamente ligadas con los indoarios, los cuales aportaron el sánscrito y todas sus lenguas derivadas en la India del Norte, a partir del año 1700 a. C.

especiales en lugar específico del dentro del espacio. Tal definición por demás compleja, no estaba soportada por ningún tipo de cálculo geométrico o matemático y todo el conjunto (tiempo-espacio-movimiento) era llamado *locomoción*. Aristóteles argumenta que el Tiempo se manifiesta entonces en el cambio de las cosas pero a su vez, el cambio en sí mismo no es el tiempo y luego de un gran trabajo analítico de la cuestión llega entonces a plantear que:

Debido a que el tiempo también es cambio o algún aspecto del cambio; y ya que no es el cambio en sí, debe ser algún aspecto del cambio", y "...no sólo medimos el movimiento mediante el tiempo, sino también el tiempo mediante el movimiento, porque uno define al otro.

Tiglioli H, 2011

Aristóteles es consciente de su argumento circular, por lo cual surge la pregunta ¿cuál es entonces el cambio que determina el tiempo? Empieza por sostener que existe un movimiento lento y otro rápido pero el tiempo es el mismo. La idea principal consiste en singularizar una marcha *limitada* concreta. Se pone en marcha la *locomoción* y como un tipo particular de locomoción, la marcha circular, de aquí, se tiene que puesto que cada cosa es contada por otra cosa de la misma naturaleza, consecuentemente también el tiempo por algún tiempo definido, así pues, como se ha dicho el tiempo se mide por el cambio y el cambio por el tiempo entonces se concluye efectivamente que la marcha uniforme es la mayor de todas las medidas. Este razonamiento es la causa de que asuma que el tiempo es la marcha de la esfera celeste y supone que los otros cambios son medidos por ésta y a su vez el tiempo por dicho cambio. Para demostrar tales cuestiones Aristóteles introduce 53 esferas celestes con el fin de explicar el movimiento de los cuerpos celestes en términos de del tiempo y su relación con la marcha de estas esferas celestes, especialmente por las estrellas fijas, explica que sin este tiempo no pueden

ser medidas de ser así no sería tiempo. En un modo muy generalizado se puede decir entonces que el tiempo está determinado por el movimiento de los cuerpos en el universo.

Pasan más de mil años después de los planteamientos de Aristóteles, cuando Isaac Newton luego de tomar la crítica de San Agustín postula la existencia de un tiempo absoluto que es absoluto, verdadero y matemático, en sí mismo además de que por su propia naturaleza fluye neutral sin relación con nada externo. Sin embargo, admite que este tiempo absoluto podría ser también imposible de medir; pues todo movimiento puede ser acelerado y/o retardado, pero el flujo del mismo tiempo absoluto no está sujeto a cambios.

El tiempo absoluto de Newton, introduce consecuentemente el concepto de espacio absoluto, con respecto al cual el movimiento y el reposo se definen sin caer en ambigüedades. El filósofo y físico austriaco Ernst Mach, retoma el trabajo de Newton en su tratado del Tiempo para afirmar que el Tiempo es una abstracción a la que se llega por el cambio de los objetos ya que no se basa en una medida concreta debido a que todos están interconectados.

Mach subraya que no es necesario seleccionar un cierto movimiento para poder medir el Tiempo, pues es posible llegar a una abstracción consistente gracias a la *interconexión*, la cual es denotada como *Tiempo*. Luego estas afirmaciones, el tiempo absoluto quedó sin ninguna base; lo que dio como opción la consideración de que todos los componentes del universo podrían conducir a un tiempo universal.

Pese a la crítica de Mach, el concepto newtoniano de tiempo absoluto sirvió como base, por más de 200 años, para la descripción de los aspectos físicos de la naturaleza; principalmente en la mecánica celeste clásica, por ejemplo en la descripción de las órbitas planetarias, la predicción

de los eclipses de sol y de luna, en la descripción gravitacional al sistema delimitado en general, puesto que las observaciones encuadraban excelentemente con la teoría newtoniana de la gravedad. Pero como es natural, alguien tendría que seguir pensando en el concepto de tiempo y a principios del siglo pasado se inició una revisión completamente radical de este concepto tan clásico; siendo los responsables principales Lorentz, Poincaré y Einstein.

El tiempo y el espacio se consideraron de una forma diferente, como entidades independientes y así emergió el concepto de espacio-tiempo. Estos hombres son radicales; a partir de ahí *espacio* y *tiempo* por mismos ya se desvanecerían, solamente una especie de unión entre ellos permite preservar una realidad. Es esta unión la que se convierte en el punto de partida desde donde Einstein analizara el significado de la simultaneidad de los acontecimientos.

De una manera intuitiva se sabe que el significado de *simultáneos* se refiere a los eventos que se observan en el mismo momento; aunque no es totalmente preciso, pues cualquier señal que se propaga a una velocidad finita, incluyendo la luz de los objetos distantes llega mas tarde que la que emiten los objetos de alrededor. En consecuencia, se puede observar que el estado de los objetos distantes es un estado anterior al tiempo en el que se observa. Aunque esto no es una apreciación de la cotidianidad, si es un hecho bien conocido en la astronomía, pues cuanto mas lejos se mira en el universo, mas se está observando el pasado. Expresado en un modo general, la visual y en consecuencia la recepción de lo visto no presenta una imagen simultanea del mundo exterior. Se puede afirmar que en el viaje de las señales en el tiempo, lo anterior se puede tener en cuenta para poder construir la *simultaneidad*, y es precisamente en esto que se basa la relatividad.

Mientras la visión newtoniana llega a una construcción de la simultaneidad debido a la existencia de un tiempo absoluto, para Einstein esta - la simultaneidad - no es única ya que

depende del estado de movimiento del observador; así pues, diferentes observadores pueden construir distintas imágenes simultáneas del mundo.

Las consecuencias de la unión del espacio y el tiempo:

Entra entonces a jugar al mismo tiempo el concepto de espacio. Se sabe el espacio posee tres dimensiones, así la posición de cualquier objeto se determina por sus características de altura, ancho y profundidad, o de una manera mas forma, por coordenadas (x, y, z) . El tiempo, por otro lado, es unidimensional y sólo se necesita un número para precisar un intervalo de tiempo. En la mecánica clásica, el espacio y el tiempo eran dos absolutos, como se ha explicado anteriormente, independientes entre sí. En la teoría de la relatividad, se unen para formar el espaciotiempo de cuatro dimensiones: tres espaciales y una temporal; cada *punto* del espaciotiempo es un suceso que se caracteriza con cuatro números: tres para describir la posición donde ocurre y uno para determinar el tiempo en el que sucede.

Ahora bien, el espaciotiempo de cuatro dimensiones posee además propiedades geométricas bien establecidas, punto que fue demostrado en forma convincente por el matemático Herman Minkowski, poco después de que apareciera la teoría de la relatividad. Los físicos y matemáticos llaman espacio de Minkowski al espaciotiempo en el que los fenómenos físicos ocurren; este es un espacio de cuatro dimensiones en el que cada punto es un suceso y en el que se puede, incluso, definir la *distancia* entre sucesos en términos del tiempo que los separa.

Ahora, es justamente esta forma de ver el espacio y el tiempo como una dimensión y su representación geométrica, lo que da las condiciones para que se presenten lo que se ha denominado contracciones y dilaciones espacio- temporales. Pero para poder hablar de

contracciones y dilataciones espaciotemporales es necesario antes pasar por las cuestiones referentes a la luz.

La naturaleza de la luz y velocidad de la luz:

Es definida como una constante universal en el vacío, dicha constante tiene el valor de aproximadamente 300000 km/s. El hecho de considerar la velocidad de la luz como constante implicó relativizar tanto el espacio como el tiempo. Para entenderlo se debe ver su evolución como concepto a través del tiempo.

La luz tiene un rol particularmente relevante en el surgimiento de las nuevas ideas de tiempo y espacio, por lo que aquí se hace un breve recuento de cómo se la interpretó a lo largo del tiempo. El primer registro sobre un esfuerzo por interpretar la naturaleza de la luz se remonta nuevamente a la época de los antiguos griego, tal como el en caso de la concepción de tiempo y espacio. Demócrito y su escuela de atomistas, de quienes ya se ha hablado anteriormente, consideraban la luz como un flujo de partículas que partían de los focos de luz. Aristóteles rechazó esta idea, considerando la luz como algún tipo de interacción entre el ojo y el objeto visto. Mientras para Euclides, la luz era un tentáculo lanzado por el ojo hacia el objeto. Sin embargo estas ideas no pueden considerarse propiamente científicas, puesto que no se apoyaban más que en el ingenio y la intuición del autor.

Inicia el real estudio de la naturaleza de la luz con Pitágoras, que propone una teoría corpuscular en el siglo VI a. de c.; según este, una fuente de luz emite partículas luminosas que se propagan en línea recta hasta encontrar un obstáculo. Estas ideas explicaban adecuadamente las sombras y el hecho de que la luz pueda atravesar el vacío. Este modelo corpuscular se mantuvo firme por casi 2000 años, hasta el siglo XVII. Fue precisamente en este siglo en el que se descubrieron

todas las leyes experimentales de la Óptica geométrica y de lo que ahora es llamado Óptica física. En 1628 Snell propone la ley de la refracción. Luego basándose en ella Kepler explicó el funcionamiento de las lentes óptica y Römer determinó la velocidad de la luz como aproximadamente $2,2 \cdot 10^8$ m/s. Además de esto, pocos años después aparecen observaciones de la descomposición de la luz blanca en diversos colores, al reflejarse en películas delgadas de aceite, y R. Hooke propone un primer modelo vibratorio para la luz en 1667. Luego Huygens desarrolla la teoría ondulatoria, esta utilizaría como soporte material una sustancia que denominó éter. El éter lo llenaba todo y debía ser lo suficientemente elástico como para permitir a la luz una elevada velocidad y a partir de la misma explica la refracción y reflexión de la luz. Para explicar la refracción supuso que la velocidad en el vidrio era menor que en el aire. En aquella época la comprobación de este dato era imposible. Paralelamente Newton, elaboró la teoría corpuscular de la luz según la cual la luz era un chorro de partículas que se originaba en el foco de luz. Unos muchos años mas tarde, el electromagnetismo unificado por Maxwell, le da una forma matemática a la *vibración luminosa* de Huygens. Una aclaración necesaria de hacer es que los modelos ondulatorio y corpuscular de la luz fueron considerados mutuamente excluyentes hasta comienzos del siglo XX.

Para la teoría corpuscular la reflexión no es más que el rebote de las partículas sobre un cuerpo. La refracción se debería a que la componente perpendicular a la superficie de separación de los medios, de la velocidad de la partícula es mayor en el medio que en el aire. Justo al revés que la teoría ondulatoria. La explicación de la doble refracción es más rebuscada; pues los corpúsculos tendrían forma de prisma, dos de cuyas caras interaccionarían con el espato⁵ y las

⁵ Un espato es cualquier mineral de estructura laminar. Se aplica en especial a los minerales de brillo vítreo que forman la ganga de los minerales metalíferos. Así, por ejemplo, el espato calizo es una variedad de caliza, el espato flúor es la fluorita y el espato pesado la baritina. El más conocido es el espato de Islandia, una variedad de calcita

otras no. La difracción se debería a la atracción ejercida sobre el corpúsculo por el cuerpo. Para explicar los anillos, Newton sostuvo que al llegar la luz a la separación entre dos medios, se reflejará o transmitirá dependiendo del espesor del medio. Los colores los achaca al distinto tamaño de los corpúsculos. Fue la teoría de Newton la que se impuso gracias a ser la más completa y por demás al prestigio del autor. Hasta comienzos del siglo XIX fue unánimemente aceptada.

Por otro lado, en 1800 Malus, científico francés, dio nombre a la luz polarizada. El descubrimiento tuvo lugar en el curso de unas investigaciones encaminadas a dar una explicación mejor que la de Newton al fenómeno de la doble refracción (birrefringencia). Ni Malus, ni Biot, ni Laplace, ni otros convencidos corpuscularistas dieron a la luz polarizada una explicación convincente. Fue Thomas Young, científico inglés, quien resucitó la teoría ondulatoria y consiguió explicar las interferencias producidas por dos focos luminosos, demostrando que luz más luz puede dar oscuridad. Además demostró que los anillos de Newton no son mas que el resultado de interferencias en láminas convergentes y midió la longitud de onda de diversos colores. Sin embargo al no dar una adecuada forma matemática a sus descubrimientos estos tuvieron poco eco.

En 1814 Fresnel, ingeniero francés, partiendo del principio de Huygens, de que *cada elemento de la superficie de una onda puede actuar como fuente de ondas secundarias*, confirmó las interferencias de Young y construyó una base conceptual y matemática para la Óptica física y la teoría de Fresnel explicó la birrefringencia, la luz polarizada, la polarización circular, la elíptica y todas las predicciones que se derivaban de ella se veían confirmadas por la experiencia. Hacia 1850 la teoría ondulatoria era ya universalmente aceptada y un experimento le dio el triunfo

incolora y transparente que presenta una muy marcada birrefringencia y se utiliza para los prismas de los microscopios polarizantes.

definitivo: Foucault midió en su laboratorio la velocidad de la luz y confirmó la predicción de Huygens; la velocidad de la luz en el agua es $\frac{3}{4}$ de su velocidad en el aire. La teoría ondulatoria tenía aún un problema; era una teoría mecanicista, precisaba de un medio en el que se propagara la onda, el éter. Esta sustancia debía poseer una elasticidad infinita para que la luz se pudiera propagar con la velocidad que lo hacía.

Pero el problema estaba cerca de ser resuelto por medio de una conjunción de teorías: En 1887 Hertz descubrió la existencia de un campo electromagnético, como había predicho Maxwell. En ese mismo año Michelson y Morley descubrieron que la Tierra no se desplazaba respecto al éter; por lo que no debería existir. En 1893 Hertz midió la velocidad de propagación de un campo electromagnético y resultó ser la misma que la de la luz.

En este momento la luz se deshizo del lastre mecanicista que arrastraba desde el principio de la ciencia. Era un fenómeno que nada tenía que ver con las leyes de Newton. En este punto de la historia la física entendía tres realidades: la materia, a la que se le aplicaban las leyes de la mecánica de Newton; las radiaciones, con las leyes del electromagnetismo de Maxwell y la energía, con las leyes de la termodinámica. Se creía así mismo que la física estaba acabada, que los pocos fenómenos que aún no tenían explicación se les encontraría alguna en poco tiempo.

Las explicaciones que se dan a tres de estos fenómenos van a revolucionar la Física. Uno de estos fenómenos los descubrió Hertz se trata del efecto fotoeléctrico, otro se conoce como efecto Compton en recuerdo a su descubridor y el último es la formación de pares. La importancia de estos efectos tanto por sí mismos, como por su influencia en la concepción de la luz, justifica que hacer en su estudio por separado.

Pero en palabras de grades escritores se cuenta lo que sucedió: *La naturaleza y sus leyes estaban ocultas en la noche, Dios dijo: Hágase Newton! y todo fue luz.* (Alexander Pope, 1688-

1744) *“Mas no duró: el diablo gritó: ¡Oh! ¡Hágase Einstein! y se re estableció el status quo.*
(Sir John C. Squire, 1884-1958)

El movimiento:

Nuevamente hay que remontarse a la antigua grecia para hablar de los orígenes de los conceptos de la física. Esta vez, Aristóteles considera el estado natural de un cuerpo en el reposo. Aparte del mundo celeste donde el movimiento natural único sería el circular uniforme, en el mundo inferior llamado sublunar, se debe distinguir entre el movimiento rectilíneo vertical y los demás movimientos.

El movimiento vertical es un movimiento natural que está determinado por la tendencia del elemento presente a volver a su lugar natural cuando se encuentra fuera de él. Así, cuando se calienta un vaso de agua, el vapor se eleva por la presencia del elemento fuego que tiende a llegar a la esfera de fuego. Al enfriarse, el vapor abandona el fuego, y el agua, que es ahora el elemento predominante, tiende a ocupar su lugar natural abajo. Como consecuencia, en el movimiento de caída libre de los cuerpos, la velocidad deber ser proporcional a la cantidad de su elemento constituyente, así, los cuerpos más pesados caerían más deprisa que los más ligeros.

Este pensamiento no era el resultado de experiencias mal realizadas o de errores de medidas, ya que los antiguos griegos no experimentaban, sólo especulaban, estas ideas eran una consecuencia característica de un esquema global de pensamiento. Todos los demás movimientos, los no verticales y los verticales en que un elemento se aleja de su lugar natural, son movimientos violentos que necesitan de una violencia exterior sin la cual permanecerían continuamente en reposo. Es decir, la inercia natural de los cuerpos es permanecer en reposo, todo movimiento implica un motor y ya que la inercia no se extiende según Aristóteles al

movimiento, la acción del motor debe prolongarse tanto como el movimiento mismo: *cessante causa, cessante effectus*.

Otra de las aportaciones de Aristóteles fue su explicación del movimiento de proyectiles. Explica que la causa del movimiento de un cuerpo separado de su motor corresponde a la producción de un vacío en su desplazamiento que es ocupado por el aire de los alrededores, lo que provoca la continuación del movimiento.

Por otra parte, en el movimiento deben considerarse dos aspectos: la acción del motor y la resistencia del medio a través del que se mueve. Ésta frena el impulso del móvil y si llega a compensar la fuerza motriz, hace que el cuerpo vuelva a su estado de reposo. También afirma que la velocidad de un cuerpo es inversamente proporcional a la resistencia que ofrece el medio en el que se mueve. Así, en el vacío, donde la resistencia es cero, la velocidad sería infinita, lo que le lleva a concluir que el vacío no existe.

El paso de Aristóteles a Galileo no fue trivial. En la medida se empezó a reaccionar contra la física aristotélica, algunos maestros de la Baja Edad Media han sido calificados como los precursores de Galileo. Recientemente se ha demostrado que las propiedades fundamentales del movimiento uniformemente acelerado, atribuidas a Galileo, fueron descubiertas y demostradas entre 1328 y 1350 por los estudiosos del Merton College de Oxford (Palanco López, 2009).

En sus trabajos distinguieron entre cinemática, geometría del movimiento y dinámica, la teoría que estudia las causas del mismo. La naturaleza cualitativa de la física griega fue sustituida, al menos en el estudio del movimiento, por las magnitudes numéricas que han regido desde entonces la física occidental. Otra gran aportación de la época procede de Jean Buridan (Universidad de París), que introduce el concepto de ímpetus en su crítica al estudio movimiento

de proyectiles de Aristóteles, definiéndolo de modo muy similar a lo que hoy entendemos por cantidad de movimiento. Estas nuevas ideas del movimiento nacidas en Francia e Inglaterra renovaron la física aristotélica, pero incorporándose a ella, sin generar una verdadera revolución que no llegaría hasta el s. XVII.

Para el cambio en la concepción de movimiento, llega Galileo y aunque ya se sabía antes de este que los aristotélicos estaban equivocados en sus teorías sobre la caída libre, fue él quien descubrió los detalles de la descripción correcta de este movimiento y lo incluyó como parte de un sistema más general de la mecánica. En su libro *Dos Nuevas Ciencias*, discute las matemáticas del movimiento uniformemente acelerado y después identifica la caída libre con este tipo de movimiento. Aunque esto no era demostrable experimentalmente en su época, pudo demostrar analíticamente que una esfera rodando por un plano inclinado obedece a las mismas reglas que el movimiento de caída libre, tratándose de un caso diluido o menos rápido de dicho movimiento. Sus estudios experimentales le permitieron establecer justificadamente las leyes del movimiento de caída de los cuerpos, que se pueden resumir de la siguiente forma:

1. Todos los cuerpos, independientemente de su peso, caen en el vacío a una distancia determinada en el mismo tiempo.

2. El movimiento de un cuerpo en caída libre o rodando por un plano inclinado, es uniformemente acelerado, es decir, se obtienen incrementos iguales de la velocidad en tiempos iguales.

Galileo afirma además, que un cuerpo en movimiento sobre un plano horizontal sin rozamiento que se extiende hasta el infinito continuará moviéndose indefinidamente con la

misma velocidad (casi igual a la ley de la inercia de Newton). Otra de sus grandes aportaciones es la solución al movimiento de los proyectiles, demostrando que era una parábola; o el de caída parabólica, donde demuestra la existencia de dos movimientos compuestos que no se alteran al mezclarse, ni se ocultan, ni se impiden mutuamente.

Todos estos estudios del movimiento no son suficientes por sí mismos para constituir una ciencia completa del movimiento, ya que no lo relaciona con las causas que lo producen. Pero fueron el punto idóneo de partida para la creación de la mecánica. La gran aportación de Galileo a la ciencia fue una metodología realmente científica basada en la experimentación como forma de comprobación de las hipótesis de partida.

Los estudios de Galileo permiten entonces llegar al concepto de aceleración sobre el que no se había reflexionado hasta ese momento, pero fue Isaac Newton el primero en comprender que no bastaba con las magnitudes cinemáticas para obtener una mecánica útil, y que era necesaria la introducción de otra magnitud primitiva *la fuerza*. Para Newton, el estado natural de un cuerpo era tanto el reposo como el movimiento rectilíneo y uniforme. Para modificar ese estado habría que aplicar una fuerza, luego ésta era la causante de la aceleración que podía sufrir un cuerpo.

Si bien se puede considerar que los principios físicos contenidos en el trabajo de Newton se encuentran en otros estudios anteriores, hay que señalar que su contribución principal fue la de un concepto de fuerza dada a priori. Por otro lado, Newton unificó las dinámicas celeste y terrestre, estableciendo que las mismas fuerzas que hacían caer la manzana eran las causantes del movimiento de los astros.

Con posterioridad a Newton, fue el trabajo de unos cuantos teóricos, que se dedicaron a expresar en el lenguaje matemático las leyes que rigen los fenómenos físicos, lo que permitió

aclarar y generalizar los conceptos newtonianos del movimiento y dar a la mecánica clásica su forma actual. Las ecuaciones de Newton no aparecen como tal en su obra.

Se debe destacar en el s. XVIII la figura de Leonard Euler; a él se le debe la introducción de los conceptos de masa puntual y centro de masas y la observación de que los enunciados de Newton sólo son válidos para masas puntuales, o la utilización del concepto de vector como magnitud dirigida. Es Euler quien expone por primera vez las ecuaciones de $F=ma$.

Otra aportación importante es la de Joseph-Louis Lagrange. En su obra, presenta la mecánica como una rama de la teoría de las ecuaciones diferenciales. En su mecánica analítica aparece por primera vez un principio variacional válido para un gran número de sistemas, formula el principio de los trabajos virtuales y llega a una formulación invariante de la mecánica, conocida como ecuaciones de Lagrange, las cuales han jugado un papel muy importante en la física moderna.

Es claro que desde las primeras investigaciones en dinámica se asociaron las fuerzas al movimiento, pero el desarrollo del concepto de fuerza ha sido un camino lento y todavía no del todo acabado.

Actualmente, se considera que las variadas fuerzas que aparecen en la naturaleza son consecuencia de interacciones entre cuerpos. Las fuerzas macroscópicas pueden explicarse mediante dos interacciones fundamentales: la gravitatoria y la electromagnética, mientras que las fuerzas que se presentan a escala atómica y subatómica se explican por la existencia de las interacciones nucleares fuerte y débil: la interacción gravitatoria es la consecuencia de una propiedad fundamental de la materia que es su masa, entre las que se producen fuerzas de

atracción y la interacción electromagnética, la cual es la consecuencia de otra propiedad fundamental de la materia que es la carga eléctrica, que presentan ciertas partículas del átomo.

La base de la mecánica está constituida por tres principios fundamentales denominados las leyes de Newton del movimiento, establecidas en 1687 por Isaac Newton en su obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

Como en toda ciencia, las leyes de Newton están basadas en la experimentación y la observación y relacionaban las magnitudes de la cinemática con conceptos nuevos como la masa y la fuerza. Estas leyes proporcionan una descripción extraordinariamente precisa del movimiento de los cuerpos que se observan en la experiencia diaria. Así, la primera Ley de Newton en su enunciado original establece que: Todos los cuerpos preservan en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado por fuerzas impuestas. Llamada de ley de la inercia, pues pone de manifiesto la tendencia de los cuerpos a mantener su estado de movimiento. Esta ley puede considerarse una definición cualitativa de fuerza, como el ente capaz de producir cambios en el estado de movimiento de los cuerpos.

Para cuantificar la inercia que presenta un cuerpo se usa el término masa inercial, pues cuanta más masa tenga un cuerpo, más resistencia presentará al cambio de su estado de reposo o movimiento uniforme, es decir, más costará que varíe su velocidad, lo que significa que su aceleración será menor.

El alcance del principio de inercia es mayor de lo que parece a primera vista, pues viene a significar una definición del sistema de referencia inercial, estableciendo el marco de validez de las leyes del movimiento al reducirlo a los sistemas de referencia inerciales. La primera ley de

Newton establece la equivalencia entre el estado de reposo y de movimiento rectilíneo uniforme. Se supone un sistema de referencia S y otro S' que se desplaza respecto del primero a una velocidad constante. Si sobre una partícula en reposo en el sistema S' no actúa una fuerza neta, su estado de movimiento no cambiará y permanecerá en reposo respecto del sistema S' y con movimiento rectilíneo uniforme respecto del sistema S . Esta ley se satisface en ambos sistemas de referencia. A estos sistemas en los que se satisfacen las leyes de Newton se les da el nombre de sistemas de referencia inerciales. Ningún sistema de referencia inercial tiene preferencia sobre otro sistema inercial, son equivalentes: este concepto constituye el principio de relatividad de Galileo o newtoniano. El cual es uno de los principios analizados desde la perspectiva de Einstein con su postulado del espacio-tiempo.

Ahora, un sistema de referencia con aceleración no es un sistema inercial, y la observación de una partícula en reposo en otro sistema no satisfará las leyes de Newton, puesto que se observará aceleración sin la presencia de fuerza neta alguna. Se denominan sistemas de referencia no inerciales.

La segunda ley de Newton expresa que el cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y se hace en la dirección de la línea recta en que se imprime la fuerza. Esta ley determina cómo se producen los cambios en el movimiento de un cuerpo cuando está sometido a la acción de una fuerza neta. Además establece que la aceleración de un objeto es proporcional a la fuerza neta externa que actúa sobre él, y que la constante de proporcionalidad es una magnitud que sólo depende del cuerpo, denominada masa o masa inercial: $F = m \cdot a$

La última de ley, llamada tercera ley de Newton, es el principio de acción y reacción; en que se afirma que para toda acción hay siempre una reacción opuesta e igual. Las acciones recíprocas de dos cuerpos entre sí son siempre iguales y dirigidas hacia partes contrarias.

Lo más característico de las fuerzas entre dos cuerpos es que siempre se presentan por parejas de acción-reacción y que la reacción es igual a la acción en módulo pero de sentido opuesto. La resultante de las fuerzas sería nula, sin embargo, al estar aplicadas en cuerpos diferentes, ambas producen efectos dinámicos. Ambos cuerpos adquirirán aceleraciones inversamente proporcionales a sus masas respectivas.

Después de pasar por la evolución de los conceptos de espacio, tiempo, naturaleza de la luz y movimiento, llega Albert Einstein, para dar su interpretación en la evolución unificada de todos a la vez. Parte del trabajo de Newton y su teoría gravitacional y propone lo que se conoce como Teoría de la Relatividad. Esta es dispuesta en dos partes aquí descritas de manera muy superficial:

TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD: Trata la relación entre las observaciones de los observadores en movimiento relativo “uniforme”, lo que implica considerarla como la nueva física del movimiento y sus causas.

TEORÍA GENERAL DE LA RELATIVIDAD: Trata la relación entre las observaciones de los observadores en movimiento relativo “acelerado”, lo cual puede verse como la nueva física de la gravedad.

Perspectivas de enseñanza y aprendizaje de la teoría de la Relatividad.

Dificultades en la enseñanza de la teoría de la relatividad.

Existen diferentes modelos pedagógicos que describen aquellas características que se deben tener presentes en las dinámicas educativas y en los procesos de conceptualización en las aulas de clase, los cuales están diseñados de acuerdo a los contextos globales y las necesidades que se

empiezan a manifestar en ciertas generaciones, particularmente, cuando se analizan algunas de estas perspectivas se puede observar que hay tres de ellas que si bien no resumen todos los modelos si han transversalizado todo el proceso de enseñanza de las ciencias como lo son la perspectiva transmisionista – conductista, la perspectiva transmisión – recepción y el conflicto cognitivo.

Cada uno de los anteriores modelos presenta diferentes estrategias de enseñanza, y disimiles dificultades en dicho proceso (de enseñanza) por lo cual es menester definir como cada una de ellas concibe los respectivos procesos y el concepto de ciencia.

Respecto a la perspectiva pedagógica transmisionista- conductista, como lo planteo el ministerio de protección social servicio nacional de aprendizaje SENA regional Quindío programa formación de docentes centro comercio y servicios, dicha perspectiva tiende a sistematizar, medir, prever, evaluar, clasificar, y proyectar el cómo se comportan los alumnos después de la instrucción de contenidos que se presentan a través de un método transmisionista.

La perspectiva transmisión- recepción concibe la ciencia como un cúmulo de conocimientos acabados los cuales se inscriben en los estudiantes que son “páginas en blanco “que acumulan de manera sucesiva y continúa los contenidos presentados por el profesores.

El conflicto cognitivo plantea que “los profesores deberían variar sus estrategias metodológicas de acuerdo al estado de evolución de y desarrollo de los alumnos” (Teorías cognitivas del aprendizaje) después de identificar sus concepciones alternativas e iniciar

procesos de transferencia de los nuevos saberes para que se genere en el estudiante una integración de estos.

Cada una de las anteriores perspectivas pedagógicas dejan ver un concepto de enseñanza y evaluación diferentes, aunque cabe resaltar que existen algunos elementos comunes como lo fueron la transmisión y/o transferencia de contenidos propios a las perspectivas transmisionista – conductista y la transmisión- recepción, sin embargo entre estas se deja entrever algunas sutiles diferencias como algunas posturas más radicales y marcadas en la forma de entender el proceso de enseñanza lo cual parte de la forma como se concibe al estudiante, en el caso de la perspectiva de transmisión- recepción se deja ver una concepción clásica y tradicional de entender al estudiante como una “página en blanco” o como lo exhiben otros autores como una “vasija vacía” el caso es el mismo, el maestro juega el papel de mero transmisor de conceptos, dador exclusivo y único de saber, por lo cual las dinámicas en el aula se reducen a estrategias magistrales, ya que la interacción directa a partir de conversaciones con los estudiante no es necesaria para los procesos de enseñanza inscritos en dicha perspectiva.

Además en este tipo modelo el estudiante como dijo Pozo es un ignorante de los procesos de enseñanza, el cual “se convierte en el sujeto receptor de, que debe seguir la lógica del discurso científico” (Modelos didácticos para la enseñanza de las ciencias naturales) y acumular contenidos constantemente.

Mientras que en la pedagogía transmisionista-conductista, existe cierta interacción entre el maestro y el estudiante ya que entre ellos se genera un proceso de intercambio de saberes y el profesor es un intermediario en los procesos en el aula.

Aunque es curioso notar que para esta perspectiva el aprendizaje también es acumulativo y el método de enseñanza parte de estrategias para generar fijación de contenidos y conocimientos aunque su centro se encuentra en “el aprender haciendo” ya que la escuela tiene como objetivo facilitar las habilidades de pensamiento y formar sujetos activos capaces de tomar decisiones y emitir juicios de valor, claro está con una participación activa de los profesores.

El conflicto cognitivo a diferencia de las anteriores perspectivas pedagógicas centra su estudio en las estructuras de conocimiento, las actividades mentales y los procesos cognitivos posibilitando identificar en los estudiantes los conocimientos previos, adicionalmente crea una integración entre los nuevos saberes y los conocimientos previos. Luego el maestro no es un mero transmisor de contenidos en esta perspectiva sino que es un facilitador de los procesos de sus estudiantes.

Las anteriores perspectivas didácticas muestran a modo general la forma de concebir el papel del maestro y sus respectivas dinámicas en el aula; aunque en la actualidad dichas estrategias demarcan una ruta, para abordar las diferentes temáticas en las sesiones de clase, en la enseñanza de las ciencias autores como Jordi Solbes y Héctor Pérez, presentan algunas estrategias (de enseñanza) inscritas en una perspectiva didáctica de conflicto cognitivo ya que consideran que las prácticas tradicionales no facilitan la enseñanza de la relatividad en la escuela de hecho ellos consideran que “Es posible diseñar una enseñanza de la relatividad en la secundaria mediante programas de actividades diseñadas en consonancia con un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación.” (Pérez, Héctor y Solbes, 2006) el cual permita brindar una enseñanza en

concordia con la comunidad científica que suscite en los estudiantes un cambio actitudinal, conceptual y metodológico.

Aunque otros autores como Zea, presentan estrategias basadas en metodologías Expositivas, apoyadas de diseños experimentales a partir de test y planteamientos de situaciones problema y Bárbara LovettCline determina que “La curiosidad es una planta pequeña delicada que, aparte de estímulo, necesita sobretodo libertad.” (LovettCline, 2005) Y que si se para desarrollar las dinámicas educativas hay que partir de la curiosidad ya que “los pequeños problemas aparentemente fáciles de resolver dieron origen a toda una revolución teórica” (LovettCline, 2005), luego para alcanzar una formulación teórica hay que partir de diferente actividades experimentales.

Luego a pesar de que en constantemente se presentan diferentes estrategias y metodologías de enseñanza cabe preguntarse ¿Cuáles son realmente las dinámicas que se desarrollan en el aula de clase para acercar temáticas como la teoría de la relatividad?

Dificultades en el aprendizaje de la teoría de la relatividad.

Al momento de aprender ciertas temáticas de la teoría de la relatividad existen algunas perspectivas para el aprendizaje que facilitan dichos procesos (Aprendizaje) como lo son el aprendizaje por descubrimiento, el aprendizaje significativo y el cambio conceptual, cada uno de ellos desarrolla una forma diferente de concebir el aprendizaje, los respectivos métodos y estrategias para llevarlo a cabo, por esto se hace necesario describir dichas perspectivas de aprendizaje.

El aprendizaje por descubrimiento se remonta a los tiempos de Sócrates, cuando este expuso que aprender es recordar y que el conocimiento está en cada hombre y que sólo se necesita de un procedimiento adecuado que lo ponga en manifiesto luego “el conocimiento debe ser adquirido por el esfuerzo del propio alumno” (Ribelo 1998), aunque las ideas fueron expuestas de manera amplia por Platón.

En la actualidad se argumenta que “la tarea de descubrir es una función exclusiva del educando” (Ribelo, 1998) parte del hecho que el conocimiento está en la realidad cotidiana y se puede acceder a ella (Realidad) a partir de procedimientos y actitudes que posibiliten el aprendizaje de los contenidos científicos generalmente de forma inductiva.

El aprendizaje significativo es una perspectiva expositiva de la enseñanza de las ciencias a partir de la integración progresiva de unos conocimientos y procesos que se asimilan, reflexionan y comprenden de manera profunda. “Fundamentalmente el alumno aprende a aprender” (Modelos didácticos para la enseñanza de las ciencias naturales) además uno de los primeros planteamientos de dicha perspectiva es que los profesores deberían variar sus estrategias metodológicas de acuerdo al estado de evolución y desarrollo de sus estudiantes.

Cambio conceptual es una perspectiva pedagógica la cual plantea que los estudiantes poseen unas concepciones alternativas que pueden llegar a ser incompatibles con las teorías científicas por lo cual se genera inconformidad conceptual entre lo que se sabe y la nueva información luego el sujeto se ve en la necesidad de consolidar nuevas teorías con mayor poder explicativo. De hecho los planteamientos de dicha perspectiva epistemológica, reconoce una estructura cognitiva del educando, valoran los pre saberes y respectivas limitaciones de los estudiantes, ya

que el cambio conceptual se asume como una situación radical de los pre saberes del educando por conceptos científicos o teorías más potentes.

Cada una de las anteriores perspectivas de aprendizaje posee un elemento común y es que se asigna al estudiante un papel activo en su proceso de aprendizaje, claro está orientado con diferentes estrategias y metodologías de aprendizaje correspondientes a cada modelo pedagógico.

CAPÍTULO CUARTO

DISEÑO METODOLÓGICO

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. ENFOQUE Y MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente Investigación se enmarca en el paradigma cualitativo ya que este posibilita realizar una mirada amplia de las disímiles situaciones que transversalizan la realidad educativa, como decía Shulman “Describir el medio en que se ha de realizar la investigación” (Shulman, 2005) permite trascender los contenidos y los escenarios (físicos e imaginarios) para hacer un análisis descriptivo, no netamente numérico; además facilita “Reconocer errores de otros estudios establecer una guía de cómo se han hecho otros estudios similares y sus respectivos resultados llevar una adecuada conceptualización de lo pretendido en la investigación.” (Shulman, 2005) El anterior componente se da gracias a la forma con la cual dicho paradigma

permite cuestionar los contextos e identificar en ellos problemáticas a las cuales se les realiza una serie de descripciones e interpretaciones flexibles y coherentes.

En este paradigma se implementa como estrategia metodológica el estudio de caso comparativo, el cual dirige el proceso a partir de grupos focales, los cuales se diseñan con la finalidad de los reunir elementos de análisis.

4.2. UNIDADES DE ANÁLISIS Y CRITERIOS DE SELECCIÓN

Como participantes se seleccionaron dos grupos de estudiantes, uno perteneciente a la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia, y un tercero perteneciente al programa de Física pura, conformados así:

- ✚ Estudiantes del curso seminario de física moderna, seleccionados con el propósito de indagar y caracterizar el proceso de enseñanza y aprendizaje.
- ✚ Estudiantes y/o egresados que ya la hayan cursado, de manera que pueda describirse el grado de manejo y al que hayan asimilado los contenidos que posean sobre de la teoría de la relatividad y su nivel de preparación para enseñarla.

4.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Dentro de los medios utilizados para recoger la información entre los grupos de participantes, se diseñaron inicialmente, tres instrumentos con la intencionalidad de indagar acerca del manejo

de los conceptos por parte de los estudiantes, su percepción sobre las dificultades que se vieron al interior del desarrollo del curso de seminario de física moderna, entre otros.

4.3.1. Prueba de pilotaje

Esta prueba se aplicó con la finalidad de conocer la disposición y predisposición de los participantes frente a los conceptos fundamentales de la TER. Los tópicos son relacionados con las ideas que poseen estos frente a la gravedad, el espaciotiempo, la velocidad de la luz entre otros. (Anexo N° 2)

4.3.2. Cuestionario de indagación de saberes sobre la teoría especial de la relatividad

Se busca con este cuestionario dar cuenta del manejo conceptual que tienen los estudiantes de la licenciatura en matemáticas y física de la universidad de Antioquia acerca de conceptos generales de la teoría especial de la relatividad, conceptos como gravedad, velocidad, marcos de referencia, entre otros. (Anexo N° 3)

4.3.3. Cuestionario sobre dificultades en la enseñanza y aprendizaje de la física moderna

Este cuestionario tiene por objeto indagar por las dificultades tanto en la enseñanza como en el aprendizaje de la física moderna que los maestros en formación de la licenciatura en matemáticas y física de la universidad de Antioquia encuentran en el seminario que se dicta en la facultad de Educación. (Anexo N° 4)

4.3.4. Entrevista Semiestructurada

Esta busca dar cuenta del manejo conceptual y metodológico que tienen los docentes de la universidad de Antioquia de la licenciatura en matemáticas y física, se creó un cuestionario en que se incluyeron temas básicos de la teoría de la relatividad, así como los concernientes a la capacidad del sujeto para enseñar la teoría. También se tienen en cuenta los criterios y valoraciones por parte de los entrevistados acerca de su propia formación en cuanto a la TER. (Anexo N° 5)

4.4. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

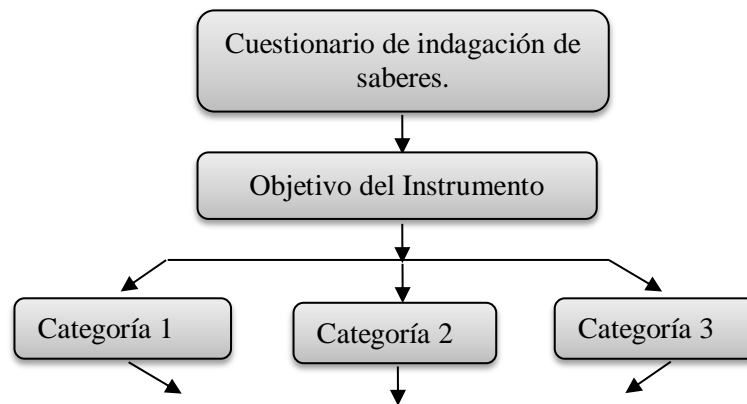
Propuesta del Plan de codificación y Análisis de la información:

1. Seleccionara los puntos clave por categoría para cada una de las respuestas por los cuestionarios de indagación de saberes y las entrevistas semiestructuradas.
2. Seleccionar aquellas preguntas que respondan a dos o más categorías.
3. Determinar con ayuda de la tabla cuáles son los elementos comunes en las respuestas por categoría.

CATEGORÍA	PREGUNTAS QUE DA CUENTA DE LA CATEGORÍA	RESPUESTA POR PARTICIPANTE.
CONCEPCIONES ALTERNATIVAS SOBRE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD		
PROBLEMÁTICAS DE ENSEÑANZA DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD.		
APRENDIZAJE DE LA		

TEORÍA DE LA RELATIVIDAD.		

4. Construir un esquema similar al ejemplificado a continuación por instrumento utilizado en la investigación:



Elementos comunes y determinantes del instrumento

5. Triangular respuestas de los participantes por instrumento.
6. Triangular los elementos comunes de las triangulaciones anteriores extrayendo elementos comunes dados por objetivo.

4.5.CRITERIOS DE CREDIBILIDAD

1. Las transcripciones de los cuestionarios aplicados a los participantes se hizo conservando los errores ortográficos y gramaticales.
2. En las respectivas transcripciones de las entrevistas se escribieron hasta los silencios entre frases, además se transcribe las frases tal cual son expresadas por el entrevistador y los participantes.
3. Se conservan como privados los nombres de los participantes de la investigación.

4. El cuestionario aplicado a las participantes se sometió a juicio de expertos y a validación de pares (a través de una prueba piloto y su respectivo análisis)
5. El plan de análisis de la información ha seguido según el diseño, con el fin de hacer fiable el análisis de la información recolectada así como las conclusiones a las que se han llegado

CAPÍTULO QUINTO

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Descripción contextual de los participantes:

La prueba piloto se aplicó a nueve participantes, dentro de los que se cuentan tres docentes licenciados en Matemáticas y Física, tres estudiantes de la misma, uno del noveno semestre y dos del décimo, junto con tres estudiantes de Física pura del sexto semestre. La intención de esta prueba fue tratar de determinar no sólo el grado de claridad de los ítems tratados por parte de los participantes, sino además establecer la acertividad en los mismos.

La selección de los diversos participantes, se realizó con el fin de contrastar el nivel de profundidad que poseen estos sujetos en cuanto a ciertos conceptos fundamentales dentro del tratamiento de la teoría de la relatividad como lo son la diferencia entre peso y masa, la concepción de la fuerza de gravedad, la invariancia de la velocidad de la luz y la dimensión espacio-temporal, entre otros.

Participantes docentes: Participantes nº3, nº4 y nº5; de estos el participante nº3 se desempeña como docente en una institución educativa privada, los dos restantes son docentes de cátedra en la Universidad de Antioquia; estos últimos manifiestan haber cursado *seminario de física moderna* hace ya casi tres años (2008-2009), mientras que el primero lo hizo en el segundo semestre del año 2010.

En la aplicación de la prueba fue el participante nº 4 quien obtuvo resultados diferentes, en cuanto a que sus respuestas dan cuenta de explicaciones más próximas a la teoría de la relatividad, en comparación con las de sus compañeros docentes, para quienes según lo expresado por ellos mismos luego de contestar el cuestionario, fue una tarea compleja recordar lo visto durante el curso de seminario de física moderna. Parte de las razones argumentadas, parten de la idea de que es un curso difícil en el sentido de la comprensión de los contenidos.

Participantes estudiantes de Licenciatura en Matemáticas y Física: Corresponden a los participantes nº1, nº2 y nº6, quienes asistieron al *seminario* en el transcurso el año 2010. El desempeño en su prueba da cuenta de lo que puede ser un escaso manejo de los conceptos tratados, ya que sus respuestas tienden a ser más de tipo mecanicista a pesar del contexto de la prueba. La falta de acertividad puede deberse a una falta de interés por el área de la física, ya que han manifestado que sus expectativas se inclinan más al ejercicio de las matemáticas que de cualquier área de la física.

Participantes estudiantes de física pura: Estos corresponden a los participantes nº7, nº8 y nº9. En los resultados de la prueba, puede verse que sus respuestas se encuentran más cercanas a las conceptualizaciones propias de la física moderna, aun por encima de los docentes participantes. El participante nº7 cursó *Física Moderna* aproximadamente en el primer semestre del año 2010, los restantes lo hicieron en el primer semestre del año 2011; hecho que se hace relevante al ver que las respuestas del participante nº7, son de toda la prueba, las más acordes con lo que se esperaba.

De lo anteriormente dicho, se puede hacer una primera conjetura en cuanto a que el nivel de profundización que se da dentro de ambas carreras (Licenciatura en Matemáticas y Física y Física pura), en el tratamiento de la física moderna influye de forma notoria en el desempeño de los sujetos a la hora de expresar los conocimientos adquiridos acerca de la teoría de la relatividad, ya que al comparar las respuestas de los participantes 7, 8 y 9 con las de los demás, la diferencia en la acertividad que se encuentra es notoria, dejando ver que las visiones mecanicistas siguen presentes incluso cuando cambia el contexto de los conceptos a tratar.

De forma general, puede decirse de esta prueba que con respecto a la diferencia entre peso y masa, se presenta una tendencia media a la duda entre lo que ambas magnitudes representan, que se evidencia ante la escogencia de la opción *discutible* y *dudoso*. En lo que se refiere al concepto de gravedad, es claro que las posturas son newtonianas aunque el contexto de la prueba se enmarca en la relatividad. Ahora, al cuestionar los participantes acerca de la velocidad de la luz, a pesar de tener claridad en que es una constante, al momento de responder ante situaciones que involucran fenómenos físicos o de interpretación, sus algunas de las opciones develan falta de claridad.

RESULTADOS:

I. PRUEBA DE PILOTAJE:

RESULTADOS INICIALES: CUESTIONARIO DE INDAGACIÓN DE SABERES SOBRE RELATIVIDAD

PARTICIPANTES	CARRERA		NIVEL
DOCENTES	Licenciatura en Matemáticas y Física	3	-----
ESTUDIANTES	Licenciatura en Matemáticas y Física	1	9

ESTUDIANTES	Licenciatura en Matemáticas y Física	2	10
ESTUDIANTES	Física pura	3	6

1. Marque con una **X** la opción que crea adecuada entre: obvio, demostrado, discutible, dudoso o improbable.

Enunciados	OBVIO	DEMOSTRADO	DISCUTIBLE	DUDOSO	IMPROBABLE
El peso y la masa son dos medidas de la misma cosa			4	1	4
Los objetos cuando caen, lo hacen debido a una fuerza que los atrae naturalmente hacia abajo		4	4		1
Las piedras caen al piso, porque es natural que caigan ya que la piedra y el suelo tienen una naturaleza parecida			2	4	3
Al dejar caer una esfera maciza de acero y un borrador al mismo tiempo, la velocidad con la que desciendan dependerá del peso de cada uno			2	1	6
Los rayos que se producen en las tormentas, caen a la velocidad de la luz	1	1	5	1	1
Un año luz es la medida del tiempo que recorre la luz en un año	1	2			6
Los planetas orbitan alrededor del sol porque el espacio está curvado	1	5	1	1	1
TOTAL	3	12	18	8	22

2. A continuación se presenta una serie de cuestiones a las que usted deberá responder de manera breve y simple:

- a) ¿Un objeto que permanece en reposo puede moverse? De ser así, ¿lo haría en dirección positiva? ¿A cuál dimensión corresponde esta dirección?

1) Un objeto que permanece en reposo si puede moverse, pero el sentido de su movimiento (positiva o negativa) depende de cómo se fije el marco de referencia, a partir de éste es que indicamos si la dirección del movimiento es en sentido positivo o negativo, y a que dimensión corresponde.

2) Puede moverse, si, siempre que haya una fuerza que interactúe con dicho cuerpo y podría moverse según la dirección en que se aplique dicha fuerza.
3) Depende del marco de referencia con el cual se está analizando, y según este marco podemos decir cual es la dirección y hacia donde se toma como positiva, podríamos hablar de una posición positiva con respecto a la dimensión del tiempo.
4) Si, la dirección positiva depende del sistema de referencia. No entiendo bien la pregunta: “¿A cuál dimensión corresponde esta dirección?” aunque creo que se refiere al hecho de que un objeto se mueve tanto en el espacio como en el tiempo
5) No sé si el concepto de estado de reposo es absoluto o relativo
6) Si, depende del sistema de referencia. Es una dimensión longitudinal
7) Sólo si un agente externo cambia el estado de movimiento del objeto. la otorga el sistema de referencia que se utilice y hacia dónde se origina la fuerza externa
8) Puede moverse en el tiempo hacia el futuro (dirección positiva)
9) Para afirmar que un cuerpo en reposo se mueve se debe tener en cuenta el marco de referencia en que sea mirado. La dirección positiva de movimiento dependerá de en que dirección se mueva con respecto al otro marco de referencia

b) ¿Si se enciende una bombilla de día, la luz tardará más en verse que si se enciende de noche?

1) Como la velocidad de la luz es la misma en el día y en la noche, entonces la luz se tardará el mismo tiempo en verse.
2) No
3) La luz viaja a la misma velocidad, independientemente si es de día o de noche
4) No
5) La velocidad de la luz es independiente de si es de día o si es de noche
6) No, la velocidad de la luz es constante
7) No. La velocidad de la luz es constante. Es mas bien un problema de percepción
8) No
9) No, la velocidad de la luz es constante independientemente de si es día o noche

c) ¿Cuántas dimensiones con respecto al movimiento se pueden describir?

1) Si es en el plano se pueden distinguir dos dimensiones y si es en el espacio podemos distinguir tres.
2) Dos: movimiento horizontal y movimiento vertical
3) Cuatro, las tres dimensiones que son más comunes (x, y, z) y el tiempo que es considerado como la cuarta dimensión
4) Cuatro dimensiones
5) Cuatro
6) 4, x, y, z, t
7) Depende de las necesidades del observador. En principio las dimensiones del movimiento son n-dimensiones, pero para efecto prácticos y tangibles para el observador son 4 dimensiones
8) 3 dimensiones espaciales y una temporal
9) Tres, en relatividad 4, tomando el tiempo, pero no siendo él una dimensión espacial

d) ¿Referirse al término *gravedad* y *aceleración gravitacional* es igual? ¿Por qué?

1) Si es igual, el problema es que muchos estudiantes piensan que la gravedad es la fuerza con la que la Tierra atrae a los cuerpos y no que es la aceleración generada por el campo gravitacional de la Tierra.
2) NO. Gravedad es una de las fuerzas fundamentales de la naturaleza y la aceleración gravitacional es el efecto que produce dicha fuerza sobre un cuerpo, por ejemplo, de los cuerpos en la tierra.
3) las dos son diferentes, a la gravedad denominados a la fuerza con la cual es atraída un cuerpo hacia la tierra, y la aceleración gravitacional hace referencia al fenómeno que se da entre la interacción entre dos cuerpos y este nos genera una fuerza que es calculada a través de la ecuación que nos presenta Newton, donde se tiene en cuenta variables como la masa y la distancia entre los cuerpos.
4) La gravedad se refiere a la atracción de los cuerpos. La aceleración gravitacional se refiere a los cambios de la velocidad con la cual se atraen

5) Es lo mismo
6) No, porque una es la causa mientras que otra es el efecto
7) No, la gravedad da cuenta de la presencia del campo gravitacional, la aceleración gravitacional es la aceleración que experimenta un cuerpo inmerso en el campo gravitacional. Cuestión del -----
8) Puede ser, según el contexto
9) No. La gravedad es una fuerza, una interacción; la aceleración gravitacional es la consecuencia la interacción de la fuerza de gravedad sobre un cuerpo

e) ¿Qué se puede representar en los diagramas de Minkowski?

1) En el diagrama de Minkowski se puede representar: Dos eventos distintos, vistos por un mismo observador. Que ocurren en el mismo lugar en tiempos diferentes. Dos eventos distintos que ocurren al mismo tiempo en distintos lugares. Dos eventos distintos que ocurren en tiempos diferentes en lugares diferentes.
2) NO recuerdo
3) la verdad lo poco que recuerdo es que son una diagramas que permiten dibujar o expresar la relación entre el espacio y el tiempo, sin embargo no recuerdo mucho de esto
4) Lo sucesos en un determinado tiempo y posición en el espacio
5) No sé lo que son los diagramas de Minkowsky
6) No se
7) Una dimensión del espacio tiempo
8) La trayectoria de un cuerpo que se mueve a velocidades que pueden compararse a la velocidad de la luz
9) Tiempo y espacio, donde la relación de estos se denomina línea de mundo

Las respuestas a cada una de las preguntas anteriores, han sido transcritas de textual, su contenido y ortografía no fueron corregidos.

II. CUESTIONARIO DE INDAGACIÓN DE SABERES SOBRE RELATIVIDAD

PARTICIPANTES	CARRERA	NIVEL
5	Licenciatura en Matemáticas y Física	10

1. Marque con una **X** la opción que crea adecuada entre: obvio, demostrado, discutible, dudoso o improbable.

Enunciados	OBVIO	DEMOSTRADO	DISCUTIBLE	DUDOSO	IMPROBABLE
El peso y la masa son dos medidas de la misma cosa			3		2
Los objetos cuando caen, lo hacen debido a una fuerza que los atrae naturalmente hacia abajo		1	3	1	
Las piedras caen al piso, porque es natural que caigan ya que la piedra y el suelo tienen una naturaleza parecida			1	2	2
Al dejar caer una esfera maciza de acero y un borrador al mismo tiempo, la velocidad con la que desciendan dependerá del peso de cada uno			2	1	2
Los rayos que se producen en las tormentas, caen a la velocidad de la luz	1		1	3	
Un año luz es la medida del tiempo que recorre la luz en un año	3	1		1	
Los planetas orbitan alrededor del sol porque el espacio está curvado		1	3	1	
TOTAL	4	3	13	9	6

2. A continuación se presenta una serie de cuestiones a las que usted deberá responder de manera breve y simple:

- a) ¿Un objeto que permanece en reposo puede moverse? De ser así, ¿lo haría en dirección positiva? ¿A cuál dimensión corresponde esta dirección?

1. La afirmación que se sugiere en la pregunta es válida porque el concepto de movimiento y su descripción están asociados al sistema de referencia que se emplee para evaluar dicho movimiento. Esto implica que la dirección y la dimensión, si por dimensión se entiende la proyección de la trayectoria del movimiento en uno de los ejes coordenados, se circunscriben a las características espaciotemporales del sistema de referencia
2. Si, según su punto de referencia ejemplo: yo voy en un bus y en el piso hay una pelota;

está en reposo pero con respecto a mi esta en movimiento
3. Hay que tener en cuenta los sistemas de referencia de los que se hablar, ya que para uno observador algo puede estar en reposo para otro puede estar en movimiento.
4. Si, el movimiento depende de la asignación del punto de referencia y para poder percibirlo se debe dar en la misma dimensión en la cual se halla el objeto.
5. De hecho todos los objetos estan en movimiento rectilíneo uniforme debido a la rotación de la tierra, y lo de la dirección de movimiento depende del sistema e referencia.

b) ¿Si se enciende una bombilla de día, la luz tardará más en verse que si se enciende de noche?

1. No
2. La luz de día hace que la luz de la bombilla se vea casi con la misma intensidad, mientras que en la noche la luz de la bombilla es más intensa
3. Claro que no, la luz en promedio viaja a la misma velocidad tanto de día como de noche; todo esto depende del objeto con lo que se esté midiendo.
4. No, porque el tiempo de encendido no depende de la hora lo que sucede es que en el día los rayos solares dificultan percibir la luz de la bombilla.
5. No, es lo mismo, aquí puede entonces pensarse en un efecto de deslumbramiento, mas luz por el sol que en la noche la penumbra.

c) ¿Cuántas dimensiones con respecto al movimiento se pueden describir?

1. De acuerdo con la estructura teórica de la teoría de la relatividad se pueden mencionar 4 dimensiones, las que habitualmente se emplean para describir el espacio geométrico con coordenadas (x,y,z) y una cuarta que describe el orden de sucesión de eventos que es el tiempo, es por esto que en la física moderna se habla de espacio-tiempo
2. Dos (creo)
3. Se pueden describir las tres dimensiones espaciales y la temporal
4. Dimensión espacio-tiempo Dimensión aceleración-tiempo Dimensión velocidad-tiempo

5. Tres.

d) ¿Referirse al término *gravedad* y *aceleración gravitacionales* igual? ¿Por qué?

1. No es lo mismo. Referirse a la gravedad es describir una relación de interacción a distancia que ocurre entre dos cuerpos que poseen una masa determinada, esta interacción se presenta bajo los parámetros que establece Newton con la expresión $F = G \frac{Mm}{r^2}$, esta interacción se manifiesta como una fuerza atractiva, mientras hablar de la aceleración de la gravedad es referirse al comportamiento de la velocidad de los dos cuerpos que interactúan en función del efecto que ejerce la fuerza en el campo gravitacional entre los dos cuerpos que interactúan

2. La gravedad es una fuerza y la aceleración una constante

3. No, ya que el término gravedad es un término que no está muy claramente determinado, lo emplean tanto para hablar de la fuerza gravitacional, como para hablar de la aceleración gravitacional

4. No es lo mismo, porque el término gravedad suele referirse a la atracción entre la tierra u otro planeta y un objeto en sus cercanías, mientras que el término aceleración gravitacional suele referirse al cambio de velocidad alcanzado por un objeto que interactúa en la tierra u otro planeta.

5. No. Porque la gravedad corresponde a la fuerza con que dos cuerpos son atraídos entre si, mientras que la aceleración de la gravedad corresponde al valor con el cual un cuerpo atrae a otro.

e) ¿Qué se puede representar en los diagramas de Minkowski?

1. Con estos diagramas se pueden representar las formas como se curva el espacio-tiempo por los efectos del campo gravitacional

2. No sé qué quiere decir dicha palabra

3. Se representan las cuatro dimensiones tanto las tres espaciales como la temporal,

4. No recuerdo, podría ser las diferentes dimensiones con respecto al movimiento

5. No lo conozco, lo siento.

III. CUESTIONARIO SOBRE DIFICULTADES EN LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA FÍSICA MODERNA

A continuación se presentan una serie de cuestiones, para las cuales usted deberá marcar tantas opciones como lo considere adecuado.

1. ¿Cuáles son las dificultades que considera que usted presentó al momento de aprender física moderna, específicamente relatividad?

5	Tiempo empleado en el estudio
4	Metodología emplea por el docente
2	Técnicas de estudio
0	No le gusta
0	No la considera relevante en su proceso formativo
6	Cantidad de contenidos presentados en el curso
2	Considera que es demasiado compleja
4	El nivel de profundización del curso

OTRAS RAZONES:

1. -----
2. el curso es interesante pero es poco tiempo para cada tema, ya que es un curso que no tiene la continuidad de curso anteriores, es decir es un poco independiente, ya que física del movimiento te indica una parte de física de los campos y a la vez física de la luz, pero física moderna va mas encaminada a la composición química.
3. El curso es muy corto para poder alcanzar las herramientas necesarias para conseguir la comprensión de las ideas fundamentales
4. -----

5. -----
6. -----
7. El manejo que se da a los conceptos en la física moderna discrepan en forma sustancial de la concepción mecánica de la física.

2. ¿Cuáles dificultades considera usted que presentó el docente con el que asistió al curso Seminario de física moderna?

3	El modelo de enseñanza
5	El sistema evaluativo
2	La metodología de enseñanza
6	La intensidad horaria
6	La cantidad de contenidos
1	El manejo de los conceptos

OTRAS RAZONES:

1. -----
2. -----
3. -----
4. -----
5. -----
6. NO se abren espacios de discusión sobre algo fuera del documento y si se hacen, las posturas del docente son las que priman.
7. -----

3. ¿Qué dificultades cree que tiene usted para enseñar el curso de física moderna, particularmente en lo correspondiente los conceptos que comprenden la teoría de la relatividad?

2	La cantidad de contenidos
7	El manejo de la teoría
4	El tiempo requerido para la preparación del curso

OTRAS RAZONES:

1. -----
2. No me siento en la capacidad para dar un curso, como física moderna, considero que se debe tener una gran madurez en el manejo de conceptos.
3. -----
4. -----
5. -----
6. -----
7.

4. ¿Considera que posee un manejo adecuado de la teoría de la relatividad, particularmente es capaz de describir la diferencia entre relatividad especial y general?

1. Puedo explicar de manera muy general está sin diferencia, sin embargo no puedo explicar profundizar mucho en los detalles.
2. No en lo absoluto
3. Creo que poseo u manejo adecuado de las ideas generelas tanto de la teoría de la relatividad general como de la general
4. Particularmente considero que con el contenido que se trabajo en el curso no es suficiente , ya que es necesario profundizar muchos conceptos para poderse enseñar en una institución educativa, bueno y en cuanto al concepto de relatividad especial y general, me acuerdo que la primera se refería al trabajo que se llevaba a cabo teniendo en cuenta la velocidad de la luz y de la general no recuerdo
5. Considero que tengo buenas bases para enseñar la teoría de la relatividad, a pesar de que

en el seminario la profundización en la temática no fue demasiada sino más bien superficial. Con respecto a la diferencia entre la relatividad especial y la general, resalto lo siguiente: Debido a que un mismo fenómeno o una misma situación puede ser analizada por diferentes observadores (inerciales y no inerciales) lo que hace la relatividad específica es elegir a alguno de los observadores y describir el fenómeno desde su punto de vista o marco de referencia y bajo unas transformaciones traducir los estudios de un observador a otro.

Por su parte, la relatividad general describe el fenómeno sin importar el estado de movimiento de los observadores y exige que la física sea la misma para todos los observadores.

6. **NO** tengo un manejo “adecuado” sobre la teoría, de hecho en el curso no se profundiza mucho sobre la temática y personalmente no se puede hablar de un seminario cuando uno no tiene claridad en los conceptos físicos necesarios para abordar la teoría de la relatividad por lo cual los debates giraban en torno a los documentos empleados en el curso y en el discurso y posturas propias del docente.

7. No, porque siempre que se habla de relatividad se piensa en ella más como sistema de referencia que como disciplina propia de la física.

FRENTE DE A LAS DIFICULTADES DE LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

Dentro de los resultados de la aplicación de los instrumentos, se encuentra que para los estudiantes la cantidad de contenidos presentados en el curso de seminario de física moderna, es uno de los inconvenientes generalizados, junto con el tiempo que dicen requerir para el estudio de la materia; a esto se suma el escaso nivel de profundización que se alcanza en el transcurso de la misma pues no se da el espacio para asimilar los contenidos. Explícitamente se ha manifestado que les falta claridad en los conceptos tratados y que el hecho de “abandonar” la interpretación mecanicista de los fenómenos constituye un impedimento de tipo conceptual que resulta en la poca comprensión de las teorías vistas.

En relación con las dificultades relacionadas con el curso considera que uno de los aspectos de mayor relevancia en este caso corresponde a la forma del sistema evaluativo, la intensidad horaria asignada al curso y la cantidad de contenidos que debe manejar.

De los tres participantes entrevistados, dos de ellos se desempeñan como docentes, ambos son licenciados en matemáticas y física de la Universidad de Antioquia. El tercero es estudiante activo del pregrado en física pura de la misma universidad y actualmente cursa el séptimo semestre.

Con respecto a la percepción de los maestros en formación acerca de su paso por seminario de física moderna, puede decirse que ambos concuerdan en que es necesario hacer una profundización de los temas del curso, lo cual lleva la necesidad de sugerir más tiempo para dicha asignatura, con la intención de poder hacer una reflexión un poco más detallada de los temas que componen el seminario. El entrevistado *MO*, especifica a cerca del seminario que su carácter es mas de tipo divulgativo y como consecuencia de esta característica se le imposibilita a un egresado de la licenciatura dar el curso de seminario de física moderna, si para esto va a hacer uso de los conocimientos adquiridos durante su formación, lo que llevaría al licencia a requerir mucho más tiempo de preparación, lo cual en sus palabras seria aproximadamente un año de estudio para alcanzar un dominio aceptable del tema para luego dictar un curso aun con las características del seminario. Por su parte el entrevistado *A2*, manifiesta que la metodología no es apta en su opinión para una materia de contenidos tan complejos, así como la necesidad de dar más tiempo al seminario para lograr hacer procesos de profundización y reflexión acerca de los contenidos. Además de esto, explicita que no se considera en la capacidad de dar ciertos

contenidos, (el tema de la teoría especial de la relatividad por ejemplo), más allá de lo que puede ser una mera introducción y sólo a nivel de la enseñanza secundaria. Sumado a lo anterior, también aclara que su tiempo de preparación para saberse en la capacidad de dictar una asignatura como el seminario de física moderna, estaría contemplado para alrededor de un año.

Con respecto al tercer participante, en comparación con los otros dos, es claro según las entrevistas que su proceso ha sido más profundo y reflexivo dentro del transcurso de su formación académica, pues desde la claridad que demuestra con las respuestas a preguntas como por ejemplo “la diferencia entre relatividad especial y relatividad general”, deja ver que su conocimiento acerca del tema es suficiente para considerarse en la capacidad de responder como docente en un curso de relatividad, como lo manifiesta explícitamente. Aclara también que para un correcto manejo de los temas propios de la física moderna, fue necesario pasar por distintos cursos como *Física moderna*, *Física cuántica*, *Física atómica*, entre otros.

ANÁLISIS DE RESULTADOS: DIFICULTADES EN LA COMPRENSIÓN DE LOS CONCEPTO DE LA TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD.

El siguiente análisis es producto de los resultados arrojados por el cuestionario sobre indagación de saberes fue aplicado a estudiantes activos del curso de Seminario de física moderna luego de haber presentado la evaluación respectiva a cerca del capítulo correspondiente a la teoría especial de la relatividad.

Dentro de los resultados obtenidos en la tabulación del cuestionario se encuentran los siguientes porcentajes:

RESPUESTA	PORCENTAJE
FALSO	23.2 %
DISCUTIBLE	20 %
PROBABLE	13.8 %
VERDADERO	13.8 %
DEMOSTRADO	12.3 %
ACEPTADO	10.7 %
IMPOSIBLE	3.1 %
SIN RESPONDER	3.1 %

Esta parte del instrumento fue diseñada con la intención de establecer la claridad que los participantes poseen acerca de ciertos puntos clave dentro de los fundamentos de la teoría de la relatividad, en cuanto a la forma como se establece la valoración de los paradigmas científicos, ya que los hechos que prevalecen bajo el amparo de las teorías reconocidas y validas en la actualidad, sólo deben ser valorados como demostrables y en caso de que se encuentre contradicción con estas su valor pasa a ser falso.

De las respuestas obtenidas en la aplicación del instrumento, puede decirse que a pesar de que los participantes ya habían hecho un estudio de la teoría de la relatividad, es claro que aun poseen posturas mecanicistas, pero más relevante es el hecho de que asumen ciertos fenómenos

como simplemente verdaderos o aceptados, como en el caso de los enunciados “la tierra gira en torno al sol” y “la tierra es esférica”.

Ante esta situación, se diseñó un taller sobre principios de relatividad especial, que fuera aplicado a los mismos participantes iniciales. Al final de dicho taller, se les solicitó responder el cuestionario inicial, lo cual mostró un incremento en los valores asignados al opción demostrado y falso, así como un decremento en las demás opciones, descartando incluso la opción de imposible. Este hecho puede interpretarse como un cambio en el manejo de los conceptos por los que se indagó inicialmente.

De forma particular, se explicita que a pesar de estar en el contexto de la física moderna, las ideas mecanicistas prevalecen cuando al preguntar por la razón por la los objetos caen, las respuestas se mantienen en torno a la gravedad como una fuerza o la influencia o dependencia del peso del objeto que cae; ambas concepciones también presentan un cambio considerable luego de la aplicación del taller, mostrando una tendencia a dar una interpretación del fenómeno más cercana a la esperada al atribuir el fenómeno a una tendencia natural de los cuerpos a caer.

CAPÍTULO SEXTO

PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DE LA TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD, CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL.

Al momento de realizar un paralelo del pensum de la licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia, se encuentra que la versión antigua corresponde a Junio del 2005, fecha de la última revisión, y su versión nueva del 2011, segunda versión; presenta una división del curso de seminario física moderna del pensum antiguo en dos cursos, los cuales son Relatividad y Mecánica Cuántica, el primero propuesto para el nivel 9 y el segundo para el nivel 10. Se considera que dicha división fue necesaria ya que un solo curso para presentar todos los elementos teóricos de la física moderna era mínimo, esta división del seminario física moderna posibilita un acercamiento a la teoría de la relatividad que puede permitir una profundización inicial en algunos elementos puntuales de dicha teoría, sin embargo, cabe resaltar que para lograr dicha profundización y correcta apropiación de los contenidos teóricos, las estrategias de

enseñanza juegan un papel determinante puesto que los saberes previos de los estudiantes se fortalecen durante la carrera a partir de una serie de cursos referentes a la física clásica.

Por tanto a continuación se presenta una propuesta inicial para la enseñanza de la relatividad especial.

INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD

CONTENIDO

PREGUNTAS DE CONTEXTUALIZACIÓN

- ❖ ¿Cómo pueden definir lo que es “relatividad”?
- ❖ ¿Cuáles son los conceptos fundamentales que se tratan en la teoría de la relatividad?
- ❖ ¿Consideran importante la enseñanza de la relatividad en la educación media?
- ❖ ¿Cómo enseñarían relatividad?

DEFINICIÓN: La teoría de la relatividad, es una teoría sobre el espacio-tiempo, la gravedad, el movimiento y sus causas.

Se divide en dos partes:

1. **Teoría especial de la relatividad:** Trata la relación entre las observaciones de los observadores en movimiento relativo “**uniforme**”, lo que implica considerarla como la nueva física del movimiento y sus causas.
2. **Teoría general de la relatividad:** Trata la relación entre las observaciones de los observadores en movimiento relativo “**acelerado**”, lo cual puede verse como la nueva física de la gravedad.

INCONSISTENCIAS EN LA TEORÍA FÍSICA CLÁSICA

Para poder hacer una adecuada introducción a la teoría de la relatividad, es necesario empezar por conocer las inconsistencias de la teoría de la física clásica que dieron paso al trabajo de Einstein.

Hendrik Lorentz y otros comprobaron que las ecuaciones de Maxwell, que gobiernan el electromagnetismo, no se comportaban de acuerdo a las leyes de Newton cuando el sistema de referencia varía y el experimento de Michelson y Morley sirvió para confirmar que la velocidad de la luz permanecía constante, independientemente del sistema de referencia en el cual se medía, contrariamente a lo esperado de aplicar las transformaciones de Galileo. Sumado a esto, la teoría de Newton, no explicaba satisfactoriamente los fenómenos gravitacionales de las masas en movimiento cuando estas se encontraban a velocidades cercanas a la velocidad de la luz.

PRINCIPIOS DE LA RELATIVIDAD

Con el fin de posibilitar una comprensión adecuada de la teoría de la relatividad tanto especial como general se hace menester describir aquellos principios esenciales de dicha teoría, los cuales son; el principio de relatividad, el principio de invarianza y el principio de invarianza general.

Al momento de presentar cada uno de los principios es conveniente iniciar un momento de discusión que permita al docente observar las concepciones previas que poseen los estudiantes sobre dicho principio, esta discusión se puede presentar partiendo de un ejemplo, un experimento mental, una pregunta problema, una actividad experimental, entre otros; Después se busca que en el debate los estudiantes intenten determinar cuál de los aportes del grupo posee mayor veracidad.

Posteriormente se enuncia el principio y al finalizar el docente abre un momento para preguntas buscando dejar lo más clara posible la definición de cada uno de los principios.

1. PRINCIPIO DE LA RELATIVIDAD

PREGUNTA INICIAL: ¿En un bus en movimiento con pasajeros y afuera observadores, puede decirse que quién de ellos se mueve?

DEFINICIÓN: Teoría que explica como las leyes logran ser las mismas para todos los observadores aunque lo que “vean” sea tan diferente.

2. PRINCIPIO DE INVARIANZA.

PREGUNTA INICIAL: ¿Si enciende una bombilla de día cuánto tarda en verse su luz?

DEFINICIÓN: En Él se explica cómo lo que podría ser diferente para distintos observadores (la velocidad de la luz por ejemplo) es igual y lo que podría ser igual (la longitud y la duración) es diferente.

3. PRINCIPIO DE INVARIANZA GENERAL

PREGUNTAS INICIALES: ¿Qué es la gravedad?

¿Dónde no hay gravedad?

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL:

Materiales: Resorte, Plastilina, Botella plástica

Descripción de la actividad:

Inicialmente se toma el resorte y se le ata a uno de sus extremos una esfera hecha previamente con la plastilina, lo suficientemente pesada como para que el resorte sufra una deformación luego se sujeta el resorte por un extremos y al deformarse se le pregunta a los estudiantes de ¿Qué estrategia se puede usar para que el resorte no se deforme?, en este instante el docente aplica todas las estrategias que los estudiantes van enunciando, al finalizar se busca aplicar la estrategia de dejar caer el resorte y observar cómo mientras el resorte se encuentra en caída libre no sufre ninguna deformación, luego se llena una botella con agua a la cual previamente se le debió abrir un agujero en la parte inferior y un agujero en la tapa, la pregunta es la misma que la del sistema con el resorte, ¿Qué estrategia se debe emplear para que no salga agua de la botella? El docente debe aplicar todas las estrategias enunciadas por los estudiantes intentando hacer una reflexión acerca de cada estrategia, resaltando los aspectos positivos de dicha estrategia, esto con el fin de motivar a los estudiantes a seguir participando, al finalizar se busca aplicar la estrategia de dejar caer la botella y observar cómo mientras esta se encuentra en caída libre no sale agua.

Al finalizar la actividad experimental se busca que el docente enuncie el principio de invarianza general, debata sobre él y apoye su discurso con el experimento mental que hizo Albert Einstein acerca de la gravedad, en el cual describe la siguiente situación, si un pintor se cae de un techo, y hay un observador observando dicho evento, el observador ve simplemente que el pintor está cayendo, pero este (el pintor) en su caída se siente flotando ¿Por qué?

Cuando los cuerpos se encuentran en caída libre no experimentan la acción de la gravedad. Un ejemplo de ello son los satélites, los cuales se encuentran en caída libre todo el tiempo, desde que son puestos en órbita.

DEFINICIÓN: Las leyes de la naturaleza son válidas para cualquier observador inercial o no inercial (teniendo en cuenta de la presencia de un campo gravitatorio)

DEFINICIONES NECESARIAS.

Al momento de enfrentarse a los conceptos de la teoría de la relatividad existen algunas definiciones y experimentos que se hacen necesarias para la comprensión de la teoría de la relatividad, estas definiciones son, la de tiempo de un evento, posición de un evento y el experimento de Michelsony Morley.

A continuación se presentan las respectivas definiciones y la descripción del experimento de Michelson y Morley apoyados de algunas preguntas iniciales que puede emplear el docente con el objetivo de debatir acerca de la importancia de dichos elementos conceptuales.

1. TIEMPO DE UN EVENTO

PREGUNTAS INICIALES:

- ❖ ¿En cuántas dimensiones vivimos los seres humanos?
- ❖ ¿Cuándo van a concretar una cita, cuáles son las condiciones necesarias para lograr llegar efectivamente al encuentro?

2. POSICIÓN DE UN EVENTO

PREGUNTAS INICIAL:

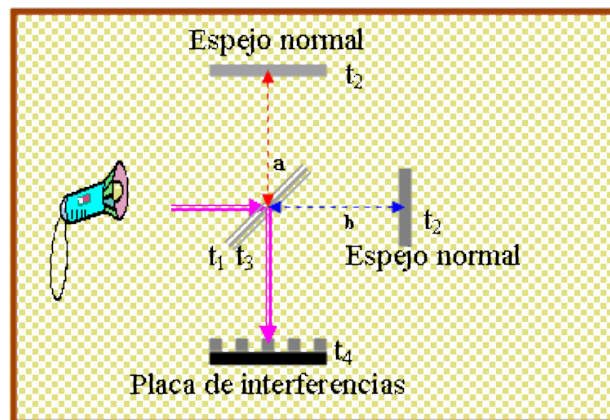
¿Cuál es la distancia más corta entre dos puntos?

3. EXPERIMENTO DE MICHELSON Y MORLEY

DESCRIPCIÓN Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL INTERFERÓMETRO.

Dicho experimento se denominó Interferómetro y fue construido con el fin de detectar la presencia del éter en el planeta tierra, él éter era para los físicos el medio en el que viajaba la luz, ya que pensaban el comportamiento de esta similar al de una onda mecánica, luego si este medio (éter) se encontraba en todo el universo, entonces también lo hacía en la tierra y si el planeta gira, pues como consecuencia el éter también lo haría dando así origen a un “viento” de éter, luego si la luz iba favor de este “viento de éter” iba a ir más rápido, pero si iba en contra de este “viento” iba a ir más despacio, en esencia este desfase en la velocidad debería ser posible medir, y el interferómetro de Michelson y Morley permitiría realizar el dicha medición ya que a partir de enviar haces de luz en dos direcciones perpendiculares, y suponiendo que la velocidad de la luz es una constante y conociendo la velocidad de rotación de la tierra se tendría entonces la velocidad de la luz c y la velocidad de la tierra que es v luego para conocer la velocidad de la luz con respecto al éter bastaría con restar ambas velocidades, cuando los haces de luz impactaran el detector del interferómetro.

La representación gráfica de dicho experimento es la siguiente:



Fuente: *La fuente de la luz.*

6

⁶ La presente imagen fue tomada de:
<http://www.google.com.co/imgres?imgurl=http://www.molwick.com/es/experimentos/r-experimento-michelson-morley-eter.gif&imgrefurl=http://www.molwick.com/es/experimentos/120michelsonmorley.html&h=300&w=400&sz=9&t>

El inconveniente surgió cuando después de aplicar repetidas veces el experimento dicho desfase nunca aparece. ¿Por qué?

Presentación de video acerca del experimento de Michelson y Morley

Después de ver el video la idea es pensar las implicaciones que conllevan el experimento de Michelson y Morley a la hora de formular la teoría de la relatividad especial.

REGLAS DE MEDICIÓN ESPACIO-TEMPORALES:

1. MÉTRICA DE MINKOWSKY

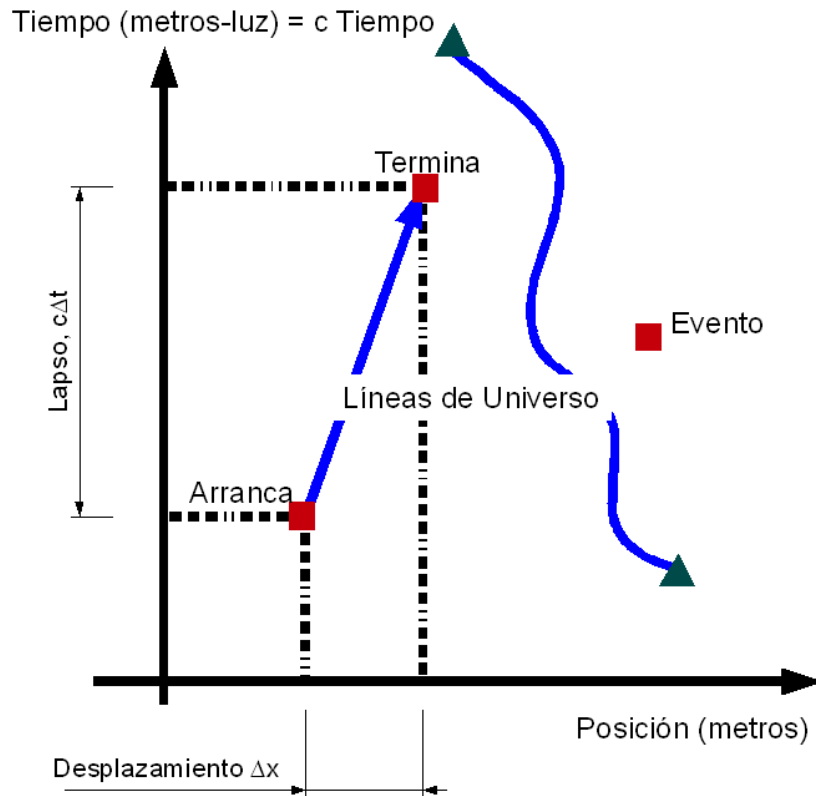
¿Cuál es la distancia entre el evento inicial y final de una línea de Universo?

Según la propuesta de Einstein, una característica de la distancia en el espacio-tiempo es que sin importar quien mida, esta debería ser la misma.

Ahora, se define el intervalo espacio-temporal entre dos sucesos del espacio de Minkowski (\vec{x}_1, t_1) y (\vec{x}_2, t_2) como la cantidad $S_{12}^2 = -C^2(t_2 - t_1)^2 + (\vec{x}_2 - \vec{x}_1)^2$; que responde a algo así como el equivalente de la distancia euclidiana entre dos puntos. Esta entonces una forma de métrica que permite resolver los problemas relativos a distancias espacio-temporales.

2. DIAGRAMAS ESPACIO-TEMPORALES: ACTIVIDAD DE ILUSTRACIÓN

La actividad consiste en hacer la representación de dos eventos, que ocurren a la vez pero para diferentes observadores. Se utiliza la representación de los diagramas de Minkowsky. Al final, dichas representaciones ejemplifican la dilatación del tiempo y la contracción de longitudes en relación con dos observadores en el mismo espacio-tiempo.



3. INTERVALO TEMPORAL ENTRE DOS EVENTOS

La duración de un fenómeno que se mueve respecto a un observador es siempre mayor a la duración “propia” del fenómeno

4. INTERVALO ESPACIAL ENTRE DOS EVENTOS

La posición en el espacio que relaciona dos eventos que suceden en el mismo tiempo

5. DILATACIÓN DEL TIEMPO Y CONTRACCIÓN DE LONGITUDES

Son la consecuencia de la invarianza de los intervalos, que permite comparar los desplazamientos y las duraciones de los observadores y los eventos.

GRAVEDAD:

1. MÉTRICA DEL ESPACIO TIEMPO

PREGUNTA INICIAL:

¿Cómo se determina la distancia entre dos puntos?

La métrica del espacio- tiempo es la forma como se puede calcular la distancia entre dos puntos, el físico Jorge Zuluaga determino la siguiente secuencia para hallar dicha distancia.

- ❖ Primero se requiere de una regla que hará las veces de cinta métrica.
- ❖ Luego a partir de las coordenadas de los dos puntos y la relación existente entre las distancias, también conocida como métrica matemática.
- ❖ En un espacio plano de dos dimensiones $d^2=Dx^2+Dy^2$, donde Dx y Dy son las diferencias entre las coordenadas del punto.

2. TIEMPO PROPIO

DEFINICIÓN: Es el tiempo transcurrido entre dos eventos que ocurren en el mismo lugar

3. DISTANCIA PROPIA

DEFINICIÓN: Es la distancia instantánea entre dos puntos del espacio-tiempo.

4. **DEFINICIÓN DE GRAVEDAD:** La gravedad es la distorsión del espacio que cambia líneas rectas por líneas curvas

EXPERIMENTO MENTAL:

La idea central del experimento aquí descrito fue elaborada por Albert Einstein, para efectos de mayor comprensión la descripción ha sido modificada, aunque la idea central de experimento de Einstein se conserva.

Supongamos que una persona es paranoica, por tanto no sale de su casa, de hecho no se acerca ni a puertas ni a ventanas, pero un día un amigo de esta persona la visita y aprovecha un descuido de ella y le pone algo a su bebida de forma tal que dicha persona queda dormida profundamente y antes de que ella se despierte este amigo la lleva hasta un cohete que previamente diseño internamente con la forma de la habitación de su amiga, luego la mete allí y antes de que ella se despierte hace que el cohete despegue a la misma aceleración de la gravedad terrestre.

La pregunta es la siguiente cuando esta persona despierte en el cohete ¿Qué experimento puede hacer en este lugar para saber que va en un cohete y que no está en el planeta tierra?

Nota: Recordar que por ser paranoica no se asoma a puertas y ventanas.

La idea es iniciar un debate con base en este experimento mental cuya conclusión sea la de que no existe ningún experimento que esta persona pueda hacer en este lugar.

La anterior idea se puede sustentar a partir del principio de equivalencia el cual da inicio a la teoría general de la relatividad.

PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA

La gravedad y la aceleración son completamente equivalentes.

5. CONTRACCIÓN GRAVITACIONAL DE LA LONGITUD

La longitud de un objeto es menor si el objeto esta en movimiento a si está quieto.

6. DILATACIÓN GRAVITACIONAL DEL TIEMPO

Cuanto mayor es la distorsión local del espacio-tiempo debido a la gravedad, más lentamente transcurre el tiempo

EVALUACIÓN

INTRODUCCIÓN A LA RELATIVIDAD ESPECIAL

Luego de haber analizado las condiciones en las que se presenta el contenido del curso de seminario de física moderna y sus respectivas actividades de evaluación, y con el apoyo de los análisis de resultados de la aplicación de instrumentos, se propone aquí una alternativa de evaluación correspondiente a la propuesta de enseñanza sobre la introducción a la teoría especial de la relatividad.

En este modelo se abandona el esquema de afirmación-razón y la justificación de sus valores de verdad, para proponer un modelo que incluye:

- ❖ Elección de Falso o Verdadero: Ante una pequeña lista de afirmaciones, el estudiante debe responder con la correspondiente justificación para la escogencia de cualquiera de las dos opciones. Como ventaja puede anotarse que el estudiante debe tener una idea clara de la cuestión por la que se pregunta.

Ejemplo:

Marque FALSO o VERDADERO, según sea el carácter de la afirmación y en cualquiera de los casos justifique la elección de su respuesta:

- a) () La teoría de la relatividad, es una teoría que trata sobre los cuerpos en caída libre con aceleración constante
- b) () La Teoría especial de la relatividad estudia la relación entre las observaciones de los observadores en movimiento relativo acelerado

c) () El experimento de Michelson y Morley, determinó que la velocidad de la luz es constante e invariable

❖ Preguntas abiertas: Consta de una lista de preguntas a las que los estudiantes deberán dar una respuesta ya sea explicando, describiendo, ejemplificando y/o dando argumentos, según sea el caso. La intención es que se conteste lo que se pregunta; es decir, si se pide definir, entonces se debe dar una definición, si se piden ejemplos se deben dar ejemplos; estas deben ser respondidas y argumentadas a manera de comentario.

Ejemplo:

Responda y argumente cada una de las siguientes cuestiones:

- a) ¿Por qué la teoría de Newton no explica satisfactoriamente los fenómenos gravitacionales?
- b) ¿Cuál era la cuestión inicial que motivo a Michelson y Morley a diseñar su experimento y cómo llegaron a su conclusión final?
- c) ¿Cómo se puede definir lo que es un sistema inercial?

❖ De desarrollo: Aquí se le solicita al estudiante que discuta acerca de una serie planteamientos a manera de tesis que le servirán para desarrollar sus ideas sobre el tema con los respectivos argumentos que den el adecuado sustento.

Ejemplo:

De los siguientes planteamientos, seleccione tres de ellos y exponga algunas ideas breves sobre ellos:

- a) La gravedad es una fuerza que obliga a las cosas a unirse
- b) La gravedad es una enfermedad del espacio-tiempo
- c) La gravedad es la norma que le dice a las partículas cómo deben moverse en el espacio y el tiempo

- d) La gravedad es la tendencia natural de un cuerpo a seguir el camino más corto entre dos puntos del espacio tiempo
- e) La gravedad es una propiedad del espacio-tiempo

❖ Selección múltiple con única respuesta: Las preguntas se dan con al menos tres opciones de respuesta, de las cuales sólo una es la correcta. Las demás suelen estar planeadas para parecer correctas con el propósito de establecer la claridad que el estudiante posee sobre el tema de la evaluación.

Ejemplo:

Seleccione para la siguiente pregunta, la opción que la responda adecuadamente:

¿Cuántas dimensiones se pueden considerar con respecto al movimiento de un cuerpo?

- a) En el plano: X y Y
- b) En el espacio: X, Y y Z
- c) Depende del sistema de referencia
- d) En el espacio y el tiempo: X, Y, Z y T

❖ Selección múltiple con múltiple respuesta: Su estructura e intención es similar al modelo anterior, pero se diferencia en que las respuestas correctas son al menos dos de las opciones que se dan. Aquí el estudiante debe seleccionar tantas respuestas como él considere que son satisfactorias para responder la respectiva pregunta

Ejemplo:

Seleccione las opciones que considere adecuadas para responder al enunciado:

La velocidad de la luz es:

- a) Una constante universal en el vacío
- b) Aproximadamente 300 mil km/s
- c) Invariante en el tiempo
- d) Dependiente del sistema de referencia

- ❖ Preguntas de reflexión: En ese tipo de preguntas, se ofrece una cuestión a la que el estudiante deberá contestar mediante un proceso de análisis; la intencionalidad de dicha pregunta es la de establecer el grado de manejo conceptual de la teoría.

Ejemplo:

Responda de manera breve las siguientes preguntas:

¿Por qué la fuerza necesaria para hacer un cuerpo con masa determinada, acelerar hasta alcanzar la velocidad de la luz, sería infinita?

- ❖ Análisis y justificación: Se trata de una serie de preguntas en las que el estudiante debe analizar tanto su valor de verdad y la forma para argumentar su valoración acerca de ellas.

Ejemplo:

Responda con los argumentos adecuados, cada una de las siguientes cuestiones:

- ¿Los efectos que predice la relatividad no pueden notarse fácilmente en cuerpos que viajen a velocidades cercanas a la de la luz?
- ¿La teoría de la relatividad es una teoría de sobre lo absoluto de las leyes de la naturaleza?
- ¿La teoría especial de la relatividad afirma que todo en el universo es relativo?

La intención con este tipo de evaluación es tener elementos que permitan hacer una medición del grado de asimilación y conceptualización de la teoría de la relatividad, luego de haber pasado por proceso de estudio de dicha teoría, que acorde con este modelo de evaluación, también se aleja de la forma en la que se ha trabajado hasta la actualidad.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DE LA PROPUESTA

La importancia de analizar las problemáticas inmersas en los procesos de tanto de enseñanza como de aprendizaje, se encuentra precisamente en las fallas encontradas y en la apropiación de conocimiento por parte de los estudiantes de la licenciatura en Matemáticas y física de la universidad de Antioquia, con el fin de poder mejorar tales procesos de formación docente. Por otro lado, al momento de analizar las problemáticas en estos procesos, se tuvo en cuenta que los aspectos esenciales para dicha investigación estuvieron demarcados por los siguientes objetivos:

Principal:

Analizar las problemáticas relacionadas con los procesos de enseñanza y aprendizaje de los maestros en formación pertenecientes a la Licenciatura en Matemáticas y Física con respecto a la teoría de la relatividad.

Objetivos auxiliares que guían la investigación son:

- ❑ Caracterizar las concepciones alternativas de maestros y estudiantes frente a la relatividad.
- ❑ Identificar y describir las problemáticas existentes con respecto a los procesos de enseñanza.
- ❑ Proponer una posible alternativa para la enseñanza y el aprendizaje de la relatividad

A partir de los aspectos que se derivaron de las preguntas de investigación, los objetivos y el proceso que se llevó a cabo se concluyó lo siguiente:

En primera instancia, a pesar de que en la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia existen problemáticas en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la TER, estas dificultades son menos marcadas de lo imaginable aunque igualmente preocupantes, ya que el nivel de apropiación de tal teoría es deficiente.

Adicionalmente se encontró que la metodología usada por el docente en la asignatura de física moderna de la Licenciatura en Matemáticas y Física, en la cual se aborda como capítulo inicial la TER, no ha cambiado en varios años, además su estructura de enseñanza y evolución se ha mantenido inmutable en el tiempo, pese a que los estudiantes manifiestan desacuerdo y apatía por algunas de las prácticas del docente, asimismo varios de los estudiantes consideran que la metodología empleada en el curso es insuficiente si lo que se espera es una adecuada apropiación de los contenidos de la física moderna, en particular de la TER, por tanto los estudiantes expresan la necesidad de un cambio en la metodología que se empleada en el curso, con el fin de mejorar los procesos de apropiación y conceptualización de la física moderna y en particular de la TER.

Es importante notar que ante una nueva propuesta de enseñanza se encontró que los estudiantes participantes no sólo demuestran mayor disposición sino que además su grado de asimilación conceptual mejora en comparación con los conocimientos iniciales, lo anterior se hace evidente, ya que en la evaluación diseñada para determinar el nivel de apropiación y aprendizaje de los participantes sus propuesta muestran una mejoría considerable en el manejo conceptual.

De lo expresado anteriormente, se deduce que los cambios en la evaluación son igualmente significativos a los cambios en la metodología, ya que no sólo se reconoce una mejor actitud al momento de aplicar la nueva estrategia de evaluación, sino que además con ésta, se logra establecer el grado de claridad alcanzado por los estudiantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO DÍAZ, J. y ACEVEDO ROMERO, P. *Creencias Sobre La Naturaleza De Las Ciencias*, (SF)

ALEMAÑ BERENGUER, R y PÉREZ S, J.F. (2000) Revista Enseñanza de las Ciencias. *Enseñanza de la física por cambio conceptual: de la física clásica a la relatividad.*

ALONSO S, y SOLER S. (2005) Revista Enseñanza de las Ciencias. *Applets para la enseñanza de elementos de relatividad.* Número extra.

CHIMBAL, Carlos. La Gaceta: *En el año del fotón.* 2006

DE LA TORRE, Lorenzo. Revista Universidad De Antioquia: *Física y utopía.* Medellín, 1996

GUISASOLA, SOLBES, BARRAGUÉS, MORENO y MORENTIN. (2007) Revista Eureka, Enseñanza y divulgación de la Ciencia. *Comprensión de los estudiantes de la teoría especial de la relatividad y diseño de una visita guiada a un Museo de la ciencia.* 4(1).

LEE S. SHULMAN. Saber y entender la profesión docente. *Estudios públicos.* No. 99. 2005. p, 195-224

LOVETT CLINE Barbara, (2005) La Gaceta del fondo de cultura económica. *Albert Einstein: La obra 1905*.

MARTINEZ RICARDO. *Método de enseñanza. Aprendizaje para la enseñanza por descubrimiento*. Editorial instituto de ciencias de la educación universitaria de Oviedo.

PÉREZ, HÉCTOR Y SOLBES, JORDI. (2006). Revista Enseñanza de las Ciencias. *Una propuesta sobre enseñanza de la relatividad en el bachillerato como motivación para el aprendizaje* Revista enseñanza de las Ciencias. 24 (2)

PÉREZ, HÉCTOR Y SOLBES, JORDI. (2003) Revista Enseñanza de las Ciencias. *Algunos problemas en la enseñanza de la relatividad*. 21 (1)

REYES, ALFONSO. La Gaceta: *Einstein*. 2005

TOLEDO, B., ARRIASECQ y SANTOS, G. (1999) Revista enseñanza de las ciencias. *Análisis de la trasicion de la física clásica a la relativista desde el "cambio conceptual"*.

OSTERMANN, F y MOREIRA, A. (2000). Revista enseñanza de las ciencias. *Física contemporánea En la escuela secundaria:Una experiencia en el aula Involucrando formación de profesores*. 18 (3), 391-404

VALENCIA, S y VALENCIA, R. (2006). Revista Eureka, Enseñanza y divulgación de la Ciencia. *Implicaciones de la evolución histórica de algunos Conceptos en la enseñanza de la relatividad*. 3(3), 409-431

RAMAL ZEA, J. (1999) Revista enseñanza de las ciencias. *Por una concepción moderna de la enseñanza de la física*. 17 (1), 131-135

EINTEIN, A y INFIELD, L. *FISICA, La Aventura Del Pensamiento*. Losada, Buenos Aires. 1958

HACYAN, S. *Relatividad Para Principiantes*. Fondo de cultura económico, México, 1995.

ANEXO N°1: CLASIFICACIÓN CATEGORIAL DE LA INFORMACIÓN

INVESTIGACIONES SOBRE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS SOBRE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD	Devenir y Determinismo en la Teoría Especial de la Relatividad	Martinez, R. 2008
	Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos	Driver, R. 1996
	Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias a desarrollo de un modelo de enseñanza aprendizaje como investigación	Gil Pérez, D. 1992
	Enseñanza por cambio conceptual: de la física clásica a la relatividad	Alemañ, B., Rafael, A. y Pérez Selles, J.F. 2000
	Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (II)	Solbes, Jordi. 2009
	Análisis de la transición de la física clásica a la relativista desde la perspectiva del cambio conceptual	Toledo, B., Arriasecq, I y Santos G. 1997
	Errores conceptuales en los modelos cuánticos	Solbes, J., Calatayud, M., Climent, J. y Navarro, J. 1987
	La crisis de la física clásica y el surgimiento de la moderna en la investigación didáctica	Solbes, J. 1990
	Construyendo la relatividad	Alonso, M. y Soler, V.2002
	Una propuesta sobre enseñanza de la relatividad en el bachillerato como motivación para el aprendizaje	Pérez, H. y Solbes, J. 2006
	Enseñanza por cambio conceptual: de la física clásica a la relatividad	Alemañ, B., Rafael, A. y Pérez Selles, J.F. 2000
	Materiales didácticos para enseñar y aprender relatividad en el bachillerato	Alonso, M. y Soler, V. 2006
	Una nueva propuesta didáctica para la enseñanza de la relatividad en el bachillerato	Alemañ, R.A, y Pérez Selles, J.F. 2001
	Por una concepción moderna de la enseñanza de la física	Ramal Zea, J. 1999

INVESTIGACIONES SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD	Elementos para la introducción de la teoría especial de la relatividad al aula escolar a partir de la historia de las ciencias	Salazar López, T. 2007
	Applest para la enseñanza de elementos de relatividad	Alonso Sanchez, M. y Soler Selva, V. 2005
	Enseñanza de la teoría de la relatividad especial en el ciclo polimodal: Dificultades manifestadas por los docentes y textos de uso habitual	Arriasecq, I y Greca, I. 2004
	Comprensión de los estudiantes de la teoría de la relatividad y diseño de una visita guiada a un museo de la ciencia	Guisasola, J., Solbes, J., Barraguess, J., Moreno A. y Morentin, M. 2007
	Física contemporánea en la escuela secundaria: Una experiencia en el aula involucrando formación de profesores	Ostermann, F. y Moreira M. 2000
	Implicaciones de la evolución histórica de algunos conceptos de la relatividad	Pérez, H y Solbes, J. 2006
	Implementación y evaluación de una propuesta de enseñanza para el tópico de física de partículas en una disciplina de estructura de la materia basada en la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud	Krey, I. y Moreira, A. 2009
	Teoría especial de la relatividad: Secuencia de enseñanza y aprendizaje para el nivel de enseñanza secundaria	Arriasecq, I. y Greca, M. 2007
	Algunos problemas en la enseñanza de la relatividad	Pérez, H y Solbes, J. 2003
INVESTIGACIONES SOBRE EL APRENDIZAJE DE LA TEORÍA DE LA	Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (II)	Solbes, J. 2009
	La relatividad en el bachillerato. Una propuesta de unidad didáctica	Alonso, M. y Soler, V. 2006
	Una propuesta sobre enseñanza de la relatividad en el bachillerato como motivación para el aprendizaje	Pérez, H. y Solbes, J. 2006

RELATIVIDAD	Construyendo la relatividad	Alonso, M. y Soler, V. 2002
	Materiales didácticos para enseñar y aprender relatividad en el bachillerato	Alonso, M. y Soler, V. 2006
	Análisis de la transición de la física clásica a la relativista desde la perspectiva del cambio conceptual	Toledo, B., Arriasecq, I y Santos G. 1997
	Desinterés por el aprendizaje de las ciencias y la enseñanza usual de las mismas	Solbes, J., Marco, D., Tarín, F. y Traver, M. 2007
	Teoría especial de la relatividad: Secuencia de enseñanza y aprendizaje para el nivel de enseñanza secundaria	Arriasecq, I. y Greca, M. 2007
SOBRE LA CONCEPCIÓN TEÓRICA DE ALBERT EINSTEIN Y OTROS AUTORES DE LOS PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD	Conceptos de relatividad	Alonso, M. y Soler, V. 2002
	Devenir y determinismo en la teoría especial de la relatividad	Martinez, R. 2008
	Crítica al experimento crucial: Michelson y la hipótesis del éter (1887-1930). Algunas implicaciones para la enseñanza de la física (15 / 17 años)	Drewes, A. y Palma, H. 2006
	Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento	Einstein, A. 1905 (Traducción de 2005)
	Construyendo la relatividad	Alonso, M. y Soler, V.2002
	Sobre la teoría de la relatividad especial y general (Libro)	Einstein, A. 1905
	La física, aventura del pensamiento (Libro)	Einstein, A. e Infeld, L. 1958
	Relatividad especial (Libro)	Schiller, C. 2007
	Qué es la teoría de la relatividad (Libro)	Landau, L. y Rumer, Y. 1996
Relatividad para principiantes (Libro)	Hacyan, S. 1996	

ANEXO N°2: PRUEBA DE PILOTAJE

CUESTIONARIO DE INDAGACIÓN

Docente: SI NO Estudiante: SI NO Carrera:

Nivel:

1. Marque con una **X** la opción que crea adecuada entre: obvio, demostrado, discutible, dudoso o improbable.

Enunciados	OBVIO	DEMOSTRADO	DISCUTIBLE	DUDOSO	IMPROBABLE
El peso y la masa son dos medidas de la misma cosa					
Los objetos cuando caen, lo hacen debido a una fuerza que los atrae naturalmente hacia abajo					
Las piedras caen al piso, porque es natural que caigan ya que la piedra y el suelo tienen una naturaleza parecida					
Al dejar caer una esfera maciza de acero y un borrador al mismo tiempo, la velocidad con la que descendan dependerá del peso de cada uno					

Los rayos que se producen en las tormentas, caen a la velocidad de la luz					
Un año luz es la medida del tiempo que recorre la luz en un año					
Los planetas orbitan alrededor del sol porque el espacio está curvado					

2. A continuación se presenta una serie de cuestiones a las que usted deberá responder de manera breve y simple:

- a) ¿Un objeto que permanece en reposo puede moverse? De ser así, ¿lo haría en dirección positiva? ¿A cuál dimensión corresponde esta dirección?
- b) ¿Si se enciende una bombilla de día, la luz tardará más en verse que si se enciende de noche?
- c) ¿Cuántas dimensiones con respecto al movimiento se pueden describir?
- d) ¿Referirse al término *gravedad* y a *aceleración gravitacional* es igual? ¿Por qué?
- e) ¿Qué se puede representar en los diagramas de Minkowski?

ANEXO N°3: CUESTIONARIO DE INDAGACIÓN DE SABERES SOBRE RELATIVIDAD

CUESTIONARIO DE INDAGACIÓN

Docente: SI NO Estudiante: SI NO Carrera:
Nivel:

1. Marque con una **X** la opción que crea adecuada entre: obvio, demostrado, discutible, dudoso o improbable.

Enunciados	OBVIO	DEMOSTRADO	DISCUTIBLE	DUDOSO	IMPROBABLE
El peso y la masa son dos medidas de la misma cosa					
Los objetos cuando caen, lo hacen debido a una fuerza que los atrae naturalmente hacia abajo					
Las piedras caen al piso, porque es natural que caigan ya que la piedra y el suelo tienen una naturaleza parecida					
Al dejar caer una esfera maciza de acero y un borrador al mismo tiempo, la velocidad con la que desciendan dependerá del peso de cada uno					

Los rayos que se producen en las tormentas, caen a la velocidad de la luz					
Un año luz es la medida del tiempo que recorre la luz en un año					
Los planetas orbitan alrededor del sol porque el espacio está curvado					

2. A continuación se presenta una serie de cuestiones a las que usted deberá responder de manera breve y simple:

- f) ¿Un objeto que permanece en reposo puede moverse? De ser así, ¿lo haría en dirección positiva? ¿A cuál dimensión corresponde esta dirección?
- g) ¿Si se enciende una bombilla de día, la luz tardará más en verse que si se enciende de noche?
- h) ¿Cuántas dimensiones con respecto al movimiento se pueden describir?
- i) ¿Referirse al término *gravedad* y a *aceleración gravitacional* es igual? ¿Por qué?
- j) ¿Qué se puede representar en los diagramas de Minkowski?

ANEXO N°4: CUESTIONARIO SOBRE DIFICULTADES EN LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA FÍSICA (TER)

CUESTIONARIO SOBRE DIFICULTADES EN LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA FÍSICA

Docente: SI___ NO___

Estudiante: SI___ NO___

A continuación se presentan una serie de cuestiones, para las cuales usted deberá marcar tantas opciones como lo considere adecuado.

1. ¿Cuáles son las dificultades que considera que usted presentó al momento de aprender física moderna, específicamente relatividad?

	Tiempo empleado en el estudio
	Metodología emplea por el docente
	Técnicas de estudio
	No le gusta
	No la considera relevante en su proceso formativo
	Cantidad de contenidos presentados en el curso
	Considera que es demasiado compleja
	El nivel de profundización del curso

OTRAS RAZONES: Describa:

2. ¿Cuáles dificultades considera usted que presentó el docente con el que asistió al curso Seminario de física moderna?

	El modelo de enseñanza
	El sistema evaluativo

	La metodología de enseñanza
	La intensidad horaria
	La cantidad de contenidos
	El manejo de los conceptos

OTRAS RAZONES: Describa:

3. ¿Qué dificultades cree que tiene usted para enseñar el curso de física moderna, particularmente en lo correspondiente los conceptos que comprenden la teoría de la relatividad?

	La cantidad de contenidos
	El manejo de la teoría
	El tiempo requerido para la preparación del curso

OTRAS RAZONES: Describa:

4. ¿Considera que posee un manejo adecuado de la teoría de la relatividad, particularmente es capaz de describir la diferencia entre relatividad especial y general?

Describa su respuesta:

ANEXO N° 5: ENTREVISTAS SEMIESTRUCTURADA

CUESTIONARIO PREESTABLECIDO:

1. ¿Hace cuánto tiempo vio el curso de física moderna?
2. ¿Recuerda cuáles contenidos se abordaron en el curso?
3. ¿Puede hacer una descripción del contenido del curso?
4. ¿Considera adecuada la cantidad de contenidos presentados en el curso? Argumente
5. ¿Cuál fue el contenido que más le gustó?
6. ¿Se considera en capacidad de explicar algunos contenidos? ¿Cuál (es)?
7. ¿Puede explicar la diferencia entre relatividad general y especial?
8. ¿Puede enunciar las inconsistencias entre la teoría de Newton que dan como origen a las teorías de Einstein?
9. ¿Enuncie las diferencias entre teoría cuántica y la teoría de la relatividad?
10. ¿Qué metodología empleó el docente?
11. ¿Cómo le pareció la metodología que empleada por el docente?
12. ¿Cómo fue el sistema de evaluación?
13. ¿Te parece que el sistema de evaluación fue adecuado para el curso? ¿Qué le cambiaría? ¿Qué propondría?

ANEXO N° 6: TRANSCRIPCIÓN DE LAS ENTREVISTAS

EL DOCENTE ENTREVISTADO (MO)

ENTREVISTADORA CRISTINA LÓPEZ (E)

CONTROL DEL TIEMPO	SUJETO	TRANSCRIPCIÓN
INICIO 00:00 min	Cristina López (E) (Mo)	¿Hace cuánto qué viste el curso de seminario de física moderna? Hace tres años , hace tres años
	Cristina López (E) (Mo)	Bueno, y aparte del curso de física moderna ehh¿viste algún otro curso que tuviera que ver con algún otro? No no he visto más cursos de física moderna
	Cristina López (E) (Mo)	¿Pero por aparte si has estudiado? Si si he hecho lectura de, que tiene que ver pues algunos textos y libros y cosas de y de pronto pues como lo que estoy estudiando actualmente tiene un poquito de relación, que es en cuanto a la parte de geometría. La geometría se relaciona bastante
	Cristina López (E) (Mo)	Aja si sí. Recordás ¿Cuáles son los contenidos que se dieron dentro del curso? Mmm, creo que si básicamente son relatividad especial, Relatividad general, yyy como una introducción a lo que es la parte de la mecánica cuántica, que se habla deeee estos problemas que planteooo Einstein el (...) eléctrico y la

		radiación del cuerpo negro creo que es.
	Cristina López (E) (Mo)	Listo, te acordás ¿Cómo fue el sistema de evaluación que utilizó el profesor? Mmm el sistema de evaluación estaba basado principalmente en el, una lectura de unos documentos y unos cuestionarios sobre el documento y se hacía una especie de examen parcial, creo que eran cuatro exámenes parciales donde se hacíaaaa se evaluaban preguntas textuales acerca del documento, y había una parte que era ya como una pregunta más abierta donde se analizaba como cierta situación o cierta enunciado, cierta proposición donde se le pedía que explicara si era verdadero o falso o como
02:00 min aprox	Cristina López (E) (Mo)	Pero,¿Entonces se hacía énfasis en alguno de los temas pues del cuestionario? Sí si se hacía énfasis yoorecuerdoo que hacía preguntas por ejemplo en cuanto a conceptos como el tiempo, si las distancias eran invariables para los observadores, esas cosas; se hacía se exponía una situación donde por ejemplo creo que había un astronauta que iba en una nave entonces registraba ciertas distancias de una varilla que estaba en otro lugar después había otro que estaba en otro planeta entonces se preguntaba por cuales eran las variables que permanecían constantes para un observador, son cosas así.
	Cristina López (E) (Mo)	Bueno yy pues según tu percepción, pues a tu parecer ¿cómo fue la metodología que utilizó el profesor? Pues la metodología inicialmente es un poco más, es como divulgativa, como a modo de chismes te cuentan que existen algunos señores que hicieron ciertas teorías que se que escribió ciertas hipótesis, ciertos principios, pero no hayy como no se

		hace pues como un desarrollo matemático no hay una profundidad como en esa parte, es más como datos históricos y esas cosas
	Cristina López (E) (Mo)	¿Conceptual? Más conceptual podría pensarse
	Cristina López (E) (Mo)	Pero pues pero ¿A vos cómo te parece? O sea, te pareció buena, te pareció adecuada, te pareció pues...? Yo creo que como una primer aproximación a los temas de la física moderna es adecuado, porque es bueno que inicialmente cuando uno se acerca a algo nuevo uno tenga una panorámica general, de donde viene y para donde va, que se ha hecho, y en donde está el asunto, cierto. Ehh creo que el curso cumple con eso como un primer acercamiento, pero no es muy adecuado ya si uno quisiera decir que en ese curso se hizo una profundización acerca de alguno de los temas, no se hace, es muy general.
04:00 min aprox	Cristina López (E) (Mo)	Ahora la descripción del contenido pues ya la hicimos Ehmm¿Vos consideras que es adecuada la cantidad de contenidos que se trabajan ahí? Pues como digo, si es un curso como de manera informativa, Sí, si es un curso que lo que pretende es que se desarrolle como cierta profundidad en ciertos aspectos de la física moderna no, no se logra, no, es demasiado contenido paraaa para un solo curso de física moderna, yo pensaría queee para tener un poquito más de profundidad ese curso debería estar dividido por ahí en unos tres o cuatro cursos, más, que abarquen lo que sería relatividad general y no sé si sería Relatividad especial y general, una parte

		<p>cuántica, no sé, ósea yo pensaría algo así, Relatividad especial, Relatividad General, Cuántica, de pronto, creo que ese curso necesitaría también, alguno otro curso que tenga que ver como con desarrollo matemático, las matemáticas que se necesita para, para entender formalmente pues en términos matemáticos, cada una de esas teorías, entonces yo pensaría que por ahí unos tres o cuatro cursos.</p>
06:00 min aprox	<p>Cristina López (E) (Mo)</p>	<p>¿Dedicados únicamente a la parte de física moderna?</p> <p>Dedicados únicamente a la parte de física moderna</p>
	<p>Cristina López (E) (Mo)</p>	<p>Ehmm, vos pues ya que has trabajado dando algunos cursos de física ¿Vos te consideras en capacidad de explicar alguno de los, de los contenidos que viste, o sea supongamos que se plantea un curso supongamos en relatividad no sé, vos te consideras en capacidad de darlo?</p> <p>Pues sssíiiii habláramos del punto con la información que obtuve dentro del curso eeh yo no me sentiría en la capacidad de dar el curso, con el nivel conceptual que yo esperarí que fuera el curso, y si fuera parte realmente tampoco, creo queeee todavía se necesita adquirir ciertas herramientas matemáticas que no se desarrollan en el en la carrera, se necesitan matemáticas en cuanto a la parte de geometría, lo que tienen que ver con geometría diferencial y topología yo creo que esas dos áreas si se trabajan se podría hacer un acercamiento más rápido, se puede hacer un acercamiento más rápido a la parte de la relatividad general, en cuanto a la cuántica eeh yo desconozco bastante el tema no sé muy bien como es el tipo de matemáticas por lo que he escuchado está más relacionada con cuestiones de estadística y probabilidad, me imagino que de pronto por esa</p>

<p>08:00 min aprox</p>		<p>parte se puede hacer un acercamiento más, estudiando estadística y probabilidad a niveles buenos, se podría llegar a la parte de cuántica pero no sé.</p> <p>Si fuera de pronto un curso más en términos divulgativos como creo que está planteado el de la facultad de educación yo creo que si se podría hacer hay mucho material bibliográfico, muchos libros que uno podría recomendar, se podrían sacar artículos, en especial este señor Roger Penrose hace un manejo conceptual muy bueno de la física moderna yyy no hace mucho énfasis en los tratamientos matemáticos, si uno reúne ese material, si yo creo que si se podría hacer un curso de física moderna pero más en términos divulgativos, para que la gente se dé cuenta de que se está trabajando en esas cosas, pero no al nivel formal en términos matemáticos, no se creó que no sería capaz de hacerlo.</p>
	<p>Cristina López (E) (Mo)</p>	<p>Listo, emn de todo lo que vos viste ahí, pues de lo que recordas y lo que de pronto emn con el contenido de física moderna ¿Qué a vos más te gusto?</p> <p>Eh a mi siempre me ha llamado mucho la parte de la relatividad general, todo lo que tiene que ver con ondas gravitacionales, curvatura del espacio tiempo, todo eso ha sido el tema que más, más me ha agradado yyy la parte de cuántica también a nivel micro, pues molecular, atómico, también es bastante llamativo, pero en general mi de la parte de física lo que más me llama la atención, es el concepto de espacio, esos dos conceptos de espacio y tiempo, porque es algo que propiamente no está bien conceptualizado, no tenemos conciencia realmente de que es el espacio y el tiempo.</p>
	<p>Cristina López (E)</p>	<p>Emn, bueno, pues según eso ¿Vos podés identificar cuál es la diferencia que hay entre la relatividad general y la relatividad especial?</p>

<p>10:00 min aprox</p>	<p>(Mo)</p>	<p>Ehhssii, de alguna forma pues la diferencia entre la relatividad especial y general tiene que ver en la forma como se está concibiendo el espacio y el tiempo, en la relatividad especial no hay una consideración de las espacio, mientras que en la relatividad general sí, y se está preguntando por la forma del espacio, todo eso y se argumenta por ejemplo (...) como esas cosas tengan que ver no con las interacciones clásicas de la física newtoniana sino con la forma propiamente del espacio, la forma del espacio la que define cómo se comportan los cuerpos todas esas cosas, los cuerpos celestes, básicamente creo que parte de estudiar un principio de no recuerdo bien cómo es pero creo que es el principio de la mínima energía, la tendencia del cuerpo a seguir el camino mas corto y en eso se encuentra que los caminos mas cortos son geodésicas no son líneas rectas como pasaría en la relatividad especial, se piensa en la geodésica de espacio, entonces una geodésica para caminos sencillos por ejemplo ahora que sería, podría ser una parábola una elipse o una curva muy extraña, depende pues de la forma del espacio, de las características que tenga.</p>
	<p>Cristina López (E) (Mo)</p>	<p>Eemm, ¿Podés enunciar las diferencias entre la teoría cuántica y la de la relatividad?</p> <p>Mmmm, sé que la diferencia esta es en cuanto a la manera a como esta, pues como en los objetivos del universo que se esta estudiando la cuántica básicamente esta estudiando lo mas pequeño del universo, a nivel atómico, como esas cosas de partículas; no se si también se pregunta cómo es el espacio alla, creo que si, mientras queeee la relatividad general es una teoría que apunta mas a los cuerpos grandes, interacción planetas y estas cosas a lo macro</p>

<p>12:00 min aprox</p>	<p>Cristina López (E) (Mo)</p>	<p>¿Y sabés cuáles fueron las inconsistencias de la teoría de Newton a partir de las cuales empezó la teoría de Einstein?</p> <p>(...) no recuerdo no recuerdo, no recuerdo por qué fue eso; no no recuerdo, si yo alguna vez o leí pero no lo recuerdo, no no se, no recuerdo</p>
	<p>Cristina López (E) (Mo)</p>	<p>Bueno, ahora, del curso de seminario de física moderna, ¿Vos le cambiarías algo con respecto al sistema de evaluación? Ahh pues ya ya pusiste claro que según tu parecer pues podrían ser más cursos ¿Cierto? Para mayor profundidad pero en cuanto al sistema de evaluación pues e propondrías que fuera diferente</p> <p>Pues en la manera como está planteado el curso que es una manera más como divulgativa como de datos yo creo que el mecanismo de evaluación que tienen es adecuado creo yo</p>
	<p>Cristina López (E) (Mo)</p>	<p>Pero por la forma del curso</p> <p>Por la forma del curso si Por la forma del curso si el curso tuviera otra intención de pronto de comparar teorías hacer contrastes en esas cosas si creo que no sería adecuado pero en la forma como esta que simplemente se esta contando unos hechos yo creo que es la forma yo creo que el mínimo que se le exige a una persona que esta en el curso es que realmente adquiera esa información que tiene que conozca los datos que esos esa información general que se da ahí entonces yo creo que si que si es adecuada.</p>
	<p>Cristina López (E)</p>	<p>Bueno y ya como ya más personal pues más como en el campo tuyo como profesor hace cuantos años que sos profesor aquí en la U</p>

	(Mo)	Acá en la universidad apenas llevo dos años como profesor de cátedra
	Cristina López (E) (Mo)	<p>¿Y en esos dos años que materias has dado?</p> <p>Ehh en estos dos años yo he dado un curso de física de movimiento en la facultad de educación junto con el de física de los medios continuos eh en otras facultades he trabajado calculo tres he trabajado álgebra lineal, geometría euclidiana , ehh algunos cursos de matemáticas operativas los nombres pues difieren entre las facultades algunas que son matemáticas (...), introducción al cálculo y cosas así, ehh yo creo que básicamente esos son los cursos como que he dado</p>
	Cristina López (E) (Mo)	<p>Entonces llevas mucho tiempo siendo profesor aquí en la universidad y con materias que pues vimos se vieron como formación dentro de la carrera cierto</p> <p>Bueno entonces supongamos que te llaman y te ofrecen ehh empezar a preparar el curso de seminario de física moderna entonces pues ahí que pasaría vos propondrías una pues replantear como se da el curso o seguirías con el mismo con los mismos temas pero de una forma diferente o al ver el contenido dirías que no por que no estás en capacidad de asumir el seminario de física moderna</p> <p>Bueno yo creo que eso depende de muchas condiciones si a mi en en este momento me dicen que tengo que dar ese curso en el e espacio pues de conceptualización de física moderna para el otro semestre yo no aceptaría; primero porque creo que es una se necesita tiempo para preparar ese curso yo estoy (...) más bien</p>

		son bastante complejos así fuera a seguir la misma estructura que tiene planteado el curso y si
	Cristina López (E) (Mo)	Aun sin modificar la estructura del curso prepararlo es Yo creo yo diría que para preparar ese curso mínimamente por ahí un año replanteando toda la información que se tiene ¿Cierto?
	Cristina López (E) (Mo)	Y eso dándolo así conceptual como se tienen planteado Umh pues si pensaría darlo de esa manera conceptual aunque yo haría algunas modificaciones yo trataría de hacer algunos desarrollos matemáticos de pronto no muy complejos pero desde mi punto de vista considero que es necesario entender la manera digámoslo así intuitiva de lo que esta pasando pero también es importante dar el paso a lo que es la formalización matemática ¿Cierto? Y yo creo que para hace ese acercamiento se necesita hacer una revisión de ejercicios cosas que permitan hacer eso hay ejercicios bastante complejos y eso tomaría mucho tempo que en este momento no no dispongo ni de los ejercicio, no dispongo ni de la información necesaria ni de los elemento ni de los artículos me gustaría quee de pronto que en eso se diera espacio para leer artículos en cuanto a la actualidad actual dee de la física moderna ¿Cierto? De pronto no artículos muy formales pero si artículos que hay de de tipo divulgación científica que permitirían ver pues que es lo que esta pasando
	Cristina	Bueno ya emh siendo vos profesor de física de la facultad de

	López (E)	<p>educación eh vos ósea para vos en tu opinión como está la línea de física dentro de la facultad dentro de la carrera pues está bien esta regular hay que modificarle algo pues como crees vos que esta la formación de los maestros de los futuros maestros en el área de física dentro de la licenciatura de matemáticas y física</p>
	(Mo)	<p>Bueno yoo haber yo recuerdo que en el programa de licenciatura en matemáticas y física hay tres físicas ¿Cierto? Que es la física del movimiento, física de los medios continuos , campos ahh no son tres luz y el seminario de física moderna en la parte de física moderna desde mi punto de vista yo creo quee necesita más necesita más tengo entendido que la proyección o los objetivos de la carrera son hasta los primeros años de enseñanza hasta los primeros años semestres de enseñanza universitaria y yo creo que un futuro profesor que se esta perfilando para eso necesita tener más conocimientos mucho mas amplio se queda en el tratamiento básico de la mecánica clásica no se trata bien bienbien formalmente la parte de la mecánica clásica ehhh la parte de la física moderna es muy simplemente divulgativo ¿Cierto? Hay que entender pues que eso es formación dee de profesores ehhh y que los objetivos en la forma en que se enseñan esos cursos apuntan a desarrollar ciertas estrategias para (...) formación y no por ello los cursos que se dan en la facultad de educación deberían de ser pues no se les debería como quitar el nivel que de pronto se maneja en la parte de pronto de una facultad de ciencias exactas o si pues de ciencias exactas yo creo que eso es lo que haría al profesor un profesional debería manejar tanto el rigor como esta habilidad que tiene para poder comunicar y yo creo que esa habilidad de poder comunicar la desarrolla en la medida en que profundiza quizás más allá de lo que de los</p>

		<p>conocimientos básicos que se le dan y que se le muestren mucho mas alla porque por la información que se da en física. Yo me atrevería a decir que lo cualquier licenciado que sale en este momento de allael es una tarea muy difícil poder enseñar si es en la universidad, si es en el colegio yo creo que la formación es adecuada pero sigue siendo pobre ¿Cierto? Porque si la idea es tratar de llevar estos nuevos conocimientos que son mas modernos mucho mas modernos a la nuevas generaciones el maestro igual tienen que tener muy amplio el criterio tiene que tener muy claro que esta pasando tanto en las teorías físicas como lo que se ha hecho y lo que se se viene ¿Cierto?</p> <p>Porque d ahí partiría la motivación que el maestro como tal lleva o que su misión puede llevar esa motivación a futuros profesionales, futuros científicos, futuros profesores.</p> <p>Ehhh creo pues que en esa parte la licenciatura debería apuntar a formar ese perfil de un profesor no solo del aula sino también un profesor del campo un profesor que piense la física y que piense los problemas físicos y que también piense ese problema que le que es de enseñar ¿Cierto? tiene que pensar esas cosas no solo quedarse e en en el que o como enseñar pero no preguntarse realmente por lo que esta pasando en la física casi que yo diría que tiene que ser una fusión como entre el científico y el profesor las dos cosas yo creo que se tiene que lograr eso desde ahí si uno no mira el problema tiene que haber como una integración entre los en las dos areas tanto desde la misión que se tiene como la facultad de educación propiamente como la facultad de ciencias exactas hay que tatar de buscarse esa integración un científico que sea capaz de comunicar un maestro un maestro científico que yo creo que si lo que estamos buscando son futuras personas que que resuelvan problemas sociales pues todos los problemas que en este momento tiene estamos viviendo cierto se tiene que</p>
--	--	--

		apuntar a eso a una formación de una persona social y también de un investigador un investigador que plantee soluciones y mas que las plantee que las cree y las haga efectivas ¿Cierto?
	Cristina López (E) (Mo)	No solo alguien que sabe solucionar problemas con algoritmos y ya Se necesita eso pasara del pensamiento a la acción y eso de pronto pasa mucho en la formación de en los profesores eh que tienen la pobreza en el acercamiento a los laboratorios a los espacios (...) propiamente de la física y no solo tiene que ver los laboratorios podría pensarse también en la vida industrial en el problema de una persona que está trabajando no se en un taller y esas cosas como ese conocimiento de es aplicable yo creo que antes que desarrollar una bonita teoría y un montón de cosas hay que pensar en el conocimiento práctico y en los entornos en el entorno social en el que nos encontramos
	Cristina López (E)	Muchas gracias

ESTUDIANTE DE FÍSICA ENTREVISTADO (AL)

ENTREVISTADORA: CRISTINA LÓPEZ (E)

CONTROL DEL TIEMPO	SUJETO	TRANSCRIPCIÓN
INICIO 00:00 min	Cristina López (E)	Entonces, la primera pregunta pues pero es porque necesito que conste acá es ¿hace cuánto tiempo que vos viste el curso de física moderna?

	(Al)	Yo la vi en el año 2009 creo que en el semestre 2009 – 2, más o menos
	Cristina López (E)	¿Y en su facultad el curso es, se llama física moderna?
	(Al)	Si se llama física moderna
	Cristina López (E)	¿Vos recordas cuáles fueron como los temas que se vieron dentro del curso?
	(Al)	Se vio una introducción a la relatividad especial, más bien estén, intensa, toda la parte de cinemática y algo sobre dinámica, se vio después se empezó a hablar ya de la cuantización del átomo de Bohr y con eso se introdujo la cuantización de mecánica cuántica y se introdujo las partículas en potenciales, entonces en un potencial unidimensional, en potencial tridimensional fue el último tema que vimos, pero se habla pues acerca de todos los tópicos, lo que son principio de incertidumbre de Heisenberg y ese tipo de cosas.
	Cristina López (E)	Y ustedes tienen, tienen cursos de profundización para esos temas que vieron en ese, en ese de física moderna osea hay cursos de física atómica y otro deee
	(Al)	Si hay un curso de física atómica, hay un curso que posterior del posterior a física moderna, hay dos cursos en mecánica cuántica, mecánica uno y dos hay un curso, esos son obligatorios, hay un curso de física atómica obligatorio, hay cursos electivos de vez en cuando salen de física nuclear, de física ehh de mecánica cuántica relativista y ese tipo de cosas, hay una electiva en física subatómica, son ese tipo de cosas.

	<p>Cristina López (E)</p> <p>(Al)</p>	<p>Vos te acordas ¿Cómo los evaluó el profesor?, ¿Qué metodología utilizó?</p> <p>Ehh la metodología era clases magistrales de dos horas, ehh unas tareas preparativas para tres exámenes del 33% cada uno y ya uno preparaba pues los problemas y los entregaba el día del examen hacia el examen y ya.</p>
	<p>Cristina López (E)</p> <p>(Al)</p>	<p>Y ustedes a parte de lo conceptual tienen contenidos matemáticos.</p> <p>Lo esencial, derivación integración, ahh y algo de ecuaciones diferenciales ordinarias, porque igual, igual lo, la parte de los potenciales por ejemplo el tridimensional requiere ecuaciones diferenciales parciales pero uno en ese nivel ya está manejado esas ecuaciones y si no las está viendo en el curso se desarrolla la solución por medio de separación de variables que lleva a solución por ecuaciones diferenciales ordinarias, osea que uno con saber calculo, pues con saber integral de integración y derivación y ecuaciones ordinarias, puede estar pues a la altura de comprender la parte matemática que se desarrolla en el curso y la parte conceptual si se hace mucho énfasis también.</p>
	<p>Cristina López (E)</p> <p>(Al)</p>	<p>Y las evaluaciones de ustedes entonces comprendían las dos cosas ósea, de los de</p> <p>No las evaluaciones eran más conceptuales queee que de trasfondo matemático porque el curso nos decía el profesor que nos lo dictaba en ese entonces Guillermo Pineda, no se quien lo estará dictando ahora, él nos decía que, ósea no es un curso de matemáticas, es un curso de física, entonces lo que uno debe aprender es física y no matemáticas, osea uno puede saber mucho de ecuaciones diferenciales pero si uno no sabe de</p>

		conservación de energía o de cuantización espacial no logra aplicarlo a la física que hay de por medio.
	<p>Cristina López (E)</p> <p>(Al)</p>	<p>Y a vos te parece que esa es la forma adecuada de dar el curso</p> <p>Yo pienso que sí, yo pienso que la matemática es una cosa y la física es otra ósea se utilizan es como, es como la escritura y la sintaxis, no por saber uno reglas de ortografía va a saber escribir y por saber escribir teniendo buenas bases para escribir, necesariamente va a saber ortografía, no, entonces es muy importante</p>
	<p>Cristina López (E)</p> <p>(Al)</p>	<p>Listo emm eh ya hiciste la descripción del contenido, emm a vos te parece que la cantidad de contenidos que vieron a través de todo el curso fue apenas o hubiera podido ser menos o hubiera podido ser más pues</p> <p>Yo pienso que fue apenas a mí me parece que fue lo justo porque igual ósea la física moderna la idea es dado que nosotros tenemos cursos ya especializados en mecánica cuántica y relatividad, nosotros no, no justifica pues no da el tiempo para hacer una exposición muy profunda, si profunda, esa es la palabra, pero apenas es pues a nivel introductorio y conceptual apenas es para uno iniciarse.</p>
	<p>Cristina López (E)</p>	<p>Vos te consideras en capacidad pues independientemente del nivel en el que estés dentro de la carrera, Vos te consideras en capacidad de dar un un curso por ejemplo de alguno de los temas que se vieron ahí, pues un taller lo que sea, pero te consideras en capacidad de explicárselo a otras personas y que lo entiendan.</p>

	(Al)	De explicarlo sí, de explicarlo dee, me considero en capacidad pues obviamente tendría que repasar algo, porque uno no se las sabe todas pues, pero yo me siento en capacidad de poder dictar un taller hacer un solucionario de problemas, dudas conceptuales, pero si me siento en capacidad.
	Cristina López (E)	Ehhh todos los temas a vos pues ehh uno siempre tiene algún tema dentro de las materias que es el que más le llama como la atención el que más le gusta, de esos cual fue.
	(Al)	A mí me gusto todo, pues es muy difícil para mí separarlo, porque a mí me asombra igual digamos que por igual la relatividad y la mecánica cuántica pues son cosas que para mí es difícil de separar pues como clasificar por gustos pero si tuviera que inclinarme, me inclinaría por la mecánica cuántica más que todo pues cuestiones (...) personales
	Cristina López (E)	Enhh vos me sabrías explicar la diferencia entre relatividad general y la relatividad especial
	(Al)	La diferencia es que la, la relatividad especial hace referencia es a los sistemas de referencia valga la redundancia hace referencia aa hace referencia, hace referencia a ahh los sistemas de referencia a la parte cinemática y no se mete tanto con la dinámica, ósea si se hay dinámica pero a nivel de conservación del momentun, a nivel de que uno habla de energías y ya a relatividad pues la relatividad general ya si mete entes matemáticos como los tensores por ejemplo y presentamos como un álgebra una matemática más pesada, más densa, conceptos nuevos por ejemplo el concepto dee lo que todo el mundo habla dee de curvatura del espacio- tiempo, tensor de masa, tensor de (...)
	Cristina	Ehh vos sabes citar cuales fueron las inconsistencias de la

	<p>López (E)</p> <p>(Al)</p>	<p>teoría de Newton que le que le dieron pie a Einstein para que empezara a desarrollar sus teorías.</p> <p>Las inconsistencias de la teoría de Newton para para él.</p>
	<p>Cristina López (E)</p> <p>(Al)</p>	<p>Ósea que cual fue el problema que Einstein encontró en las teorías Newtonianas que le</p> <p>Ahh no a la conservación es decir, están las transformaciones Galileanas, ¿cierto? que son transformaciones de en el espacio,, son transformaciones del sistema de coordenadas pero cuando uno hace esas transformaciones, aplica esas transformaciones a las ecuaciones de Maxwell uno se encuentra con problemas, complicaciones, entonces para mí fue lo que llevó a que Einstein ehh pues con las transformaciones de Riemann, perdón las transformaciones de Lorentz a dar surgimiento a la aparición de la relatividad mejor dicho.</p>
	<p>Cristina López (E)</p> <p>(Al)</p>	<p>Bien ahmmm, que más es, emhh, yo creo que esta ya la contestaste sí, Las diferencias, las diferencias entre a teoría cuántica y la teoría de la relatividad</p> <p>Entre mecánica cuántica, sí es que la relatividad noo es decir, la relatividad no hace, no hace alusión esencial, hace alusión a cuerpos, ahh cuerpos que se mueven a velocidades que son comparables con la velocidad de la luz, con comparables me refiero a que se pueden expresar como porcentajes de de la velocidad de la luz, el porcentaje de la velocidad límite, etcétera etcétera y la mecánica cuántica, la cuántica, la mecánica cuántica habla de cuantización, es decir que uno habla de que uno habla, habla de una discretización que las magnitudes física como por ejemplo, la energía o los estados que puede ocupar un sistema, uno en relatividad no se preocupa por los estados que un sistema</p>

		<p>puede ocupar entonces esa sería la distinción que yo haría, que relatividad especial uno no se preocupa porque energías puede asumir el sistema uno en mecánica cuántica uno si se preocupa por eso, pues y esa cuantización, pues lleva cuantizaciones de todo tipo, cuantizaciones espaciales, cuantizaciones en energía y cuantizaciones en varias magnitudes.</p>
	<p>Cristina López (E)</p> <p>(Al)</p>	<p>Ehh supongamos que en un futuro como ahh hipotético, o como de mediano plazo vos terminarás como profesor, si como docente y a vos te dicen pues ya después de haber visto toda tu carrera obviamente y a vos te dicen que des el curso por ejemplo de física moderna, que es del que estamos hablando en este momento, vos crees que con a formación que te dieron dentro de toda la carrera, vos con plena confianza podés decir, sí si lo puedo dar oo</p> <p>Sí, si yo pienso que sí</p> <p>Sí sii yo creo que si por que uno uno no solo se queda con lo el curso de física moderna, uno, uno ve el curso como te decía de mecánica cuántica 1, mecánica cuántica 2, ya se introduce una matemática más pesada se habla de (...) que ya son entes matemáticos más densos que permiten obtener más información de los temas y, y física atómica, pues atómica y molecular es el nombre del curso ahh ya parte ve un curso de relatividad ósea uno ve física moderna sola y aparte de eso digamos que la desmenuza uno en cursos más avanzados (...) con la matemática más</p>
	<p>Cristina López (E)</p> <p>(Al)</p>	<p>Ósea que sí, vos te consideras en la capacidad</p> <p>Si me considero en la capacidad.</p>

ESTUDIANTE DE LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA ENTREVISTADO

ENTREVISTADORA: CRISTINA LÓPEZ (E)

CONTROL DE TIEMPO	SUJETO	TRANSCRIPCIÓN
<p>INICIO 00:00 min</p>	<p>Cristina López(E) (A2)</p>	<p>Hace cuánto que viste el curso de seminario de física moderna? Hace tres semestres, o sea año y medio</p>
	<p>Cristina López(E) (A2)</p>	<p>Y recordás cuáles fueron los contenidos que se abordaron dentro del curso? Se abordaron contenidos de relatividad, eh física nuclear, física atómica, eh relatividad especial..., no recuerdo mas, la verdad</p>
	<p>Cristina López(E) (A2)</p>	<p>Y de la metodología que utilizó el docente, te acordás cuál fue la metodología? Eeh, si, de la metodología del docente si me acuerdo. Eeh, eran unos textos, él nos daba unos textos a nosotros y nos daba una serie de preguntas; las preguntas tenían una afirmación y una razón, entonces a partir de lo que leíamos en el texto nosotros debíamos responder las preguntas luego íbamos al salón, socializábamos el texto socializábamos las preguntas y habían los parciales o las evaluaciones</p>
	<p>Cristina López (E) (A2)</p>	<p>Y cómo te pareció la metodología, te pareció apropiada o no? Pues la metodología es buena, eeh, sin embargo yo considero que hay que cambiar cosas en la metodología, no es la forma adecuada para trabajar un curso que es tan complejo</p>
	<p>Cristina López (E)</p>	<p>Bien, el sistema de evaluación, cómo te pareció el sistema de evaluación?</p>

<p>02:00 min aprox</p>	<p>(A2)</p>	<p>Duro, o sea es un sistema de evaluación duro, complicado, donde lo pone a uno mucho a pensar reflexionar que de pronto es lo que busca el curso pero que se puede o sea que en si solamente se basa en lo procedi... en lo, no en lo procedimental sino en, como en verificar lo que dice el texto. Yo lo llamaba como la sopa de letras de de, pues en física moderna, por que era como, tu leías la pregunta e ibas al documento buscar dónde estaba eso y buscabas qué palabrita estaba mal para decir es falso o es verdadero. Entonces era mas bien como una sopa de letras o lo llamábamos así en ese tiempo eh, por que era eso vaya y busque en todo el texto para poder responder las preguntas; sin embargo me parece que al profesor le ha funcionado, eeh, a nosotros nos funcionó esa forma de evaluar que también se puede evaluar por que pueden haber otras formas de evaluar que de pronto le permitan a uno adquirir mayores conocimientos y que de pronto se vea mucho mas realmente lo que uno aprende.</p>
	<p>Cristina López (E) (A2)</p>	<p>Vos consideras adecuada la cantidad de contenidos que se abordaron dentro del curso?</p> <p>Considero adecuada, si. Me parece que es adecuada la cantidad de contenidos, el tiempo no es el adecuado; o sea, son los temas que uno debe abarcar en física moderna como tal, pero me parece que el tiempo que dan para abordar los contenidos es mínimo, entonces uno no tiene oportunidad pero de profundizar en nada.</p>
	<p>Cristina López (E) (A2)</p>	<p>O sea que vos podrías decir que se necesita mas de un curso de física moderna para poder ver bien los contenidos?</p> <p>Totalmente; o sea, uno uno debería no se, yo creo que mas o menos desde un séptimo semestre empezar a ver física moderna o tener al menos unos tres semestre para poder ver los contenidos y decir que se pudo abarcar, por que considero que con tres semestres también es mínimo lo que abarca, pues el contenido es demasiado extenso y para uno profundizar se necesita mas tiempo.</p>
	<p>Cristina López</p>	<p>Vos te considerarás en la capacidad de explicar alguno de los temas que viste de física moderna?</p>

<p>04:00 min aprox</p>	<p>(E) (A2)</p>	<p>De pronto si me considero capaz, solamente que yo creo que tengo ir a recordar de pronto en un texto volver a leer la teoría; tengo ideas muy vagas, muy vagas que de pronto me permiten decir a los muchachos algún concepto que trabajamos en relatividad, y es mas, cuando estoy con los estudiantes lo aplico y les hablo de eso, sin embargo no muy profundo como yo quisiera que fuese realmente.</p>
	<p>Cristina López (E) (A2)</p>	<p>Y de todos los contenidos, algún tema en particular a vos te llamó mas la atención o te gustó mas?</p> <p>Me gustó mucho el tema cuando hablamos, eeh me acuerdo que una vez que estaba el profesor empezó a hablarnos de relatividad y él hizo una introducción y entonces empezó a hablar sobre los campos, eeh, no sobre los campos, sobre las ondas y de cómo viajaba la onda y de cómo todo el cuerpo que se movía tenía una longitud de onda asociada y cómo nosotros podíamos también tener pues esa longitud de onda, solamente que no hay una rendija por donde podamos pasar y que no logremos viajar a esa velocidad. Ese tema me..., me acuerdo mucho de ese tema y me parece interesante, yo creo que es uno de los temas que mas recuerdo.</p>
<p>06:00 min aprox</p>	<p>Cristina López (E) (A2)</p>	<p>Sabes explicar la diferencia entre relatividad general y relatividad especial?</p> <p>“Jajajajaja”, mmm, eeh, bueno, la eeh..., la relatividad especial eeh, nos habla de la velocidad de la de la... hay una que nos habla de la luz, o sea, como el único, la luz como el único contenido principal ahí, cierto? Y de la velocidad que tiene la luz como tal y de la otra... no recuerdo muy bien...</p>
	<p>Cristina López (E) (A2)</p>	<p>Pero entonces esa que estas explicando es la general o la espacial?</p> <p>No recuerdo, creo que es la general</p>

	<p>Cristina López (E)</p> <p>(A2)</p>	<p>Bien, será que podés, o tenés idea de cuáles fueron las inconsistencias de teoría de Newton que le dieron paso a la teoría de Einstein?</p> <p>Eeh, no.</p>
<p>08:min aprox</p>	<p>Cristina López (E)</p> <p>(A2)</p>	<p>Qué le cambiarías vos al sistema de evaluación del curso, o a la metodología?</p> <p>Bueno, yo creo que la metodología le hace falta principalmente mas tiempo, o sea, hay que, se debe tener mas tiempo para poder cambiar la metodología como tal, cierto? Porque yo lo veo, o sea, con lo que se que se trabajaba en el pensum de nosotros que esa de un semestre no creo que haya forma de trabajar de otra forma; sin embargo ahora con el cambio del pensum creo que se va trabajar con mas tiempo y considero que la metodología se puede trabajar diferente, eeh, hacer mas debates, mas reflexiones criticas acerca de los cambios de los experimentos que se llevaron a cabo, no se, ver videos hay mucho, creo que hay mucho video que creo que también le puede ilustrar mucho a uno adecuadamente la información, eeh, leer mas, por ejemplo hay un libro de Serway completo completo de teoría de la relatividad, entonces si Serway escribió un libro solamente para la relatividad quiere decir que se debe abarcar en mas tiempo, entonces analizar eso, sentarse mas a hacer pues como reflexiones mas criticas. En el sentido de la evaluación, eh, creo que continuaría con esa parte pero agregaría otras cosas, no se, eh, es muy tensionante para uno cuando tiene que sustentar unas preguntas que uno muchas veces ni siquiera entiende, entonces, yo creo que es primero entender bien el contenido para después sustentar, pueden haber exposiciones, yo creo que uno esta en capacidad de hacer una exposición, eeh, de eeh, hacer un escrito un ensayo eeh, que le permitan a uno evaluar de otra forma y no solamente como vaya sustente esto de lo que el profesor le dijo y saque las pregunticas como en la sopa de letras, busque las respuestas en a sopa de letras</p>

	<p>Cristina López (E)</p> <p>(A2)</p> <p>Cristina López (E)</p> <p>(A2)</p>	<p>Y, vos como ya futuro licenciado, ya casi licenciado, vos te consideras en la capacidad de preparar un curso de física moderna, así como está el seminario de física moderna, prepararlo y darlo?</p> <p>En la universidad?</p> <p>Si.</p> <p>No. Yo no me arriesgaría a dar un curso de física moderna en la universidad personalmente, o sea, primero es un curso que es bastante complejo de entender donde los conceptos no son fáciles de asimilar, se tiene que sentar uno a analizar un concepto demasiado para poder asimilarlo y entonces yo creo que no debe dar en lo que no se siente bien, yo no me siento bien, considero que con lo que aprendí de física moderna fue como un esbozo de lo que uno puede para que tenga ideas de física moderna y si l preguntan “ahí si, yo se algo, yo le vi física moderna” sin embargo con lo que le dan a uno o con lo que yo vi en la universidad no considero que sea lo suficiente para dar un curso y sobretodo en una universidad, donde los estudiantes se supone son mas preparados y se supone que trabajan mas desde la critica y mas desde el querer aprender, entonces no me sentiría preparado para eso.</p>
<p>10:00 min aprox</p>	<p>Cristina López (E)</p> <p>(A2)</p>	<p>Y cuánto tiempo crees que tendrías que estudiar para dar un curso de seminario de física moderna?</p> <p>Hacer una especialización, una maestría. No mentiras, yo creo que tres semestres bien dedicado, o sea, año y medio bien dedicado a estudiar física moderna yo creo que estaría uno en condiciones de dar ya elementos mas concretos y mas estructurados, pero yo creo que si es bueno uno hacer una especialización en física moderna o tener al menos algo que le permita una profundización</p>

ANEXO N° 6: TABLA DE SÍNTESIS DE LA PROPUESTA DE ENSEÑANZA Y EVALUACIÓN:

