LOS CONCEPTOS DEL ESPACIO-TIEMPO ENTRE NEWTON Y EINSTEIN PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Licenciado en Física

ERICK RODOLFO ORTIZ IBÁÑEZ

Cód:2015184116

MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

22 DE FEBRERO 2017

BOGOTÁ D.C.

LOS CONCEPTOS DEL ESPACIO-TIEMPO ENTRE NEWTON Y EINSTEIN PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Licenciado en Física
ERICK RODOLFO ORTIZ IBÁÑEZ

Tesis de grado para optar por el título de
Magister en Docencia de las Ciencias Naturales

Director del trabajo:
Juan Carlos Castillo Ayala

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

22 DE FEBRERO 2017

BOGOTÁ D.C.

1. Información General	
Tipo de documento	Tesis de Grado - Maestría
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Titulo del documento	Los Conceptos del espacio-tiempo entre Newton y Einstein para la enseñanza de la física
Autor(es)	ORTIZ IBAÑEZ, Erick Rodolfo
Director	CASTILLO AYALA, Juan Carlos
Publicación	Bogotá D. C, Universidad Pedagógica Nacional, 2017, 52 p
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	Espacio-tiempo, Newton, Einstein, Teoría Especial de la Relatividad, Historia de las Ciencias, estudio histórico- critico

2. Descripción

El espacio-tiempo son conceptos que están enmarcados en la cotidianidad del hombre, han sido abordados por diferentes contextos académicos, como en la filosofía, la psicología, el arte y sobre todo en las ciencias, especialmente en la física, ya que se establecen en la mecánica de Newton y en la teoría especial de la relatividad (TER) de Albert Einstein como ejes principales para la comprensión y formulación de la mecánica clásica y la física moderna. Identificar la interpretación de estos conceptos por parte de Newton y Einstein permite generar propuestas investigativas que se basen en la enseñanza de la TER en el aula, en cursos de media vocacional a través de estudios de corte histórico y de análisis histórico-críticos, fomentando la adquisición y construcción de conocimiento en el aula y del docente.

3. Fuentes

Ayala M. , M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições, 17*(1 (49)), 19-37. Obtenido de http://www.proposicoes.fe.unicamp.br/proposicoes/textos/49_dossie_ayalammam.pdf

Ayala, M. M. (1992). La enseñanza de la física para la formacion de profesores de física. *Brasileira de Ensino de Física, 14*(3), 153-157. Recuperado el 20 de Diciembre de 2016, de http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol14a26.pdf

Barinaga-Rementeria, J. M. (2004). La investigación kantiana sobre el espacio y el tiempo. *Teorema, XXIII*(1-3), 144-155. Recuperado el Noviembre de 2016, de http://sammelpunkt.philo.at:8080/2334/1/Dialnet-LaInvestigacionKantianaSobreElEspacioYElTiempo-1087952.pdf

Berkson, W. (1981). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein.* (L. González

Seco, Trad.) Madrid: Alianza Editorial.

Castillo Ayala, J. C. (2012). Reflexiones sobre el tiempo en la física. En M. C. Cifuentes, J. D. Reyes, A. A. Venegas Segura, R. I. Pedreros, & J. C. Castillo Ayala, *Perspectivas epistemol´pgicas, culturales y didácticas en educación en ciencias y la formación de profesores: Avances de investigación* (págs. 151-182). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Einstein, A. (1905). *Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento.* (ICN-UNAM, Ed., & H. Quevedo, Trad.) Recuperado el 4 de Enero de 2016, de https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jcuevas/Teaching/articulo-original.pdf

Einstein, A. (1984). Notas Autobiográficas. En A. Einstein. Madrid, España: Alianza Editorial.

Granés Sellarés, J. (2005). *Isacc Newton Obra y Contexto una Introducción.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Longlois, C., & Seignobos, C. (2003). *Introducción a los estudios históricos.* (F. C. Sevillano, Ed.) Salamanca: Universidad de Alicante.

Newton, I. (2013). *Principios Matemáticos de Filosofía Natural.* (E. Rada García, Trad.) Madrid, España: Alianza Editorial.

Orozco Cruz, J. C. (1996). La dimensión histórico-filosófica y la enseñanza de las ciencias. *Física y Cultura: Cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias*(2), 97-110.

Orozco, J. C. (2005). Atajos y desviaciones. Los estudios histórico-críticos y la enseñanza de las ciencias. *Tecne, Episteme y Didaxis*, 70-79.

Orozco, J. C., Valencia, S. V., Méndez, O. N., Jiménez, G. G., & Garzón, J. O. (2001). Los problemas de conocimiento una perspectiva compleja para la enseñanza de las ciencias. *Universidad Pedagógica Nacional*. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de http://www.pedagogica.edu.co/storage/ted/articulos/ted14_11arti.pdf

Otero , L. C. (1988). Einstein y la Teoría de la relatividad. La abolición del espacio y el tiempo absolutos. *Umbral*. Recuperado el 18 de Octubre de 2016, de http://www.academia.edu/1182152/Einstein_y_la_Teor%C3%ADa_Especial_de_la_Relatividad._La_Abolici%C3%B3n_del_Espacio_y_el_Tiempo_Absolutos

Pacheco Codina, A. M. (1999). Conceptos de espacio y tiempo en la física. *Tecné, episteme y didaxis, 6*, 46-54. Obtenido de http://www.pedagogica.edu.co/storage/ted/articulos/ted06_08arti.pdf

4. Contenidos

El presente documento está conformado por cinco (5) capítulos relacionados con los conceptos del espacio-tiempo, los cuales están asignados de la siguiente manera: El primer capítulo aborda la problemática y su justificación, así como los conceptos de espacio-tiempo son abordados desde diferentes contextos delimitando la problemática de la investigación y la importancia de estos en la física. El capítulo dos hace referente al marco teórico, donde se expone las interpretaciones acerca del espacio-tiempo por parte de Newton y Einstein, evidenciando las ideas que conllevaron a la formulación de estas y así mismo como se enfrentó un cambio de paradigma en la física para la formulación de la teoría especial de la relatividad. En el tercer capítulo se incluye la metodología de investigación, evidenciando como los estudios de corte histórico, junto con la historia de la ciencia permite la comprensión y enseñanza de los conceptos de espacio-tiempo en el aula. El cuarto capítulo aborda los conceptos que tienen los estudiantes acerca del espacio-tiempo y estos como interpretan lo absoluto y relativo, haciendo un análisis y comparaciones frente a las ideas de Newton y Einstein. Y por último en el capítulo quinto se presenta como este tipo de investigaciones aporta elementos a la enseñanza de las ciencias, especialmente en la Teoría especial de la relatividad en cursos de media vocacional.

5. Metodología

La metodología de investigación es de corte histórico, reconstruyendo el pasado para verificar y sintetizar las hipótesis (Monje, 2011), así mismo se utiliza la historia de las ciencias, la recontextualización de saberes y los estudios histórico-críticos como fuente de conocimiento que permitan la comprensión e interpretación de los conceptos que enmarca las teorías físicas. Esta propuesta metodológica evidencia la importancia de conocer, analizar e interpretar las ideas que tenían los precursores de las diferentes teorías físicas, proponiendo rutas de enseñanza para la construcción de conocimiento en el aula y así mismo para el docente.

Los principales textos abordados para la presente investigación son *Los Principios Matemáticos de Filosofía Natural* de Isaac Newton y el artículo *Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento* de Albert Einstein. Así mismo la población la cual se analizó las ideas de espacio-tiempo, fueron noventa y uno (91) estudiantes de grado undécimo del colegio Gimnasio el Lago.

6. Conclusiones

- La presente investigación permite establecer las concepciones e interpretaciones de los conceptos de espacio y tiempo que se encuentran inmersas en la mecánica newtoniana y en la teoría de la relatividad especial, a través de la revisión de corte histórico fundamentando los trabajos de aprendizaje del docente de ciencias y permitiendo generar propuestas de enseñanza en el aula.

- Los aportes y procesos que la historicidad de las ciencias y la recontextualización de saberes contribuyen adquirir elementos de investigación, fomentando la comprensión conceptual y del

porqué de las teorías físicas, permitiendo identificar y categorizar los conceptos de espacio y tiempo entre Newton y Einstein.

- La investigación de corte histórico, aborda los textos principales de Newton y Einstein permitiendo plantear esta metodología como una fuente de conocimiento en la construcción de explicaciones frente a los conceptos de espacio y tiempo, aportando elementos hacia la enseñanza de física, especialmente de la Teoría especial de la relatividad.

- Aunque sólo se abordó los conceptos de espacio y tiempo entre Newton y Einstein, este tipo de investigaciones se pueden llevar a cabo en cualquier teoría, puesto que para la formulación de estas es necesario obtener una compresión conceptual que las encierran.

- Conocer las concepciones de espacio - tiempo que tenían Newton y Einstein permite brindar una explicación de la postulación de sus teorías, comprender el absolutismo de Newton y el Relativismo de Einstein conlleva a una adquisición de conocimiento, enriqueciendo y fortaleciendo al docente en sus destrezas de enseñanza de las ciencias.

- Finalmente, el uso de la historicidad de las ciencias y la recontextualización de saberes son herramientas que marcan la diferencia tanto la comprensión, como en la enseñanza de las ciencias, promoviendo al docente y estudiante profundizar en el conocimiento, potencializando el espíritu científico.

Elaborado por:	ORTIZ IBAÑEZ, Erick Rodolfo
Revisado por:	CASTILLO AYALA, Juan Carlos

Fecha de elaboración del Resumen:	22	02	2017

Agradecimientos

Le agradezco infinitamente a mi señora madre, sin su apoyo este objetivo no lo hubiese alcanzado.

A Liz Katherine Cañón, una mujer especial, desde que ingreso a mi espacio-tiempo ha sido una persona muy importante, su apoyo incondicional me dio fuerzas para continuar y terminar con este proyecto.

Al docente Juan Carlos Castillo, quien me asesoró y sus comentarios fueron oportunos para la germinación de este logro, así mismo a todos los docentes que hicieron parte de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales y aportaron significativamente en mi crecimiento académico y personal.

Dedicatoria

A mi madre,

María Elena Ibáñez donde su amor y apoyo no es relativo, es incondicional e infinito.

...Basta ya. Newton, perdóname; tú encontraste el único camino que en tu época era todavía posible para un hombre de máxima capacidad intelectual y de creación. Los conceptos que tú creaste siguen rigiendo nuestro pensamiento físico, aunque ahora sabemos que hay que sustituirlos por otros más alejados de la esfera de la experiencia inmediata si aspiramos a una comprensión más profunda de la situación...(Einstein, 1984, pp. 34-35).

Tabla de Contenido

Agradecimientos I

Dedicatoria II

INTRODUCCIÓN **1**

1. Planteamiento y Justificación del problema **4**

1.1. Antecedentes 9

1.2. Objetivos 12

1.2.1. Objetivo General 12

1.2.2. Objetivos Específicos 12

2. Marco Teórico **13**

2.1. Los Conceptos de Espacio y Tiempo 13

2.1.1. La Mecánica Clásica 13

2.1.2. Isaac Newton 15

2.1.3. El espacio y el tiempo absoluto. 15

2.1.4. El cubo de Newton 17

2.1.5. La discusión de Leibniz 19

2.2. La Teoría de la Relatividad 20

2.2.1. Albert Einstein 20

2.2.2. El problema de la electrodinámica de los cuerpos en movimiento 21

2.2.3. La abolición del espacio tiempo absoluto 23

2.2.4. Las consecuencias del nuevo concepto de espacio-tiempo 29

2.3. Contribuciones del marco teórico 29

3. Metodología **30**

3.1. Método de Investigación 30

3.1.1. Historia de las Ciencias 30

3.1.2. La historia de las ciencias en la enseñanza. 31

3.1.3. Recontextualización de saberes 32

3.1.4. Estudio histórico-crítico 33

3.2. Aportes de la metodología 34

4. Conceptos de espacio-tiempo en el aula **35**

4.1. Descripción de la población 36

4.2. Primera Indagación 37

4.2.1. La percepción del movimiento 37

4.2.2. Conceptos de espacio y tiempo de los estudiantes 39

4.2.3. Conclusión de la Primera Indagación 44

4.3. Segunda Indagación 45

4.3.1. Identificando lo absoluto y lo relativo. 45

4.3.2. ¿El espacio-tiempo es absoluto o relativo? 46

4.3.3. Conclusión de la Segunda Indagación 48

5. Aportes para la enseñanza de la física **49**

6. Conclusiones **54**

Bibliografía **56**

Anexos **65**

INTRODUCCIÓN

El presente documento aborda algunas de las concepciones del espacio y tiempo en la física, a través de la interpretación fundada por parte de dos físicos que se encuentran presentes en la historia de las ciencias por instaurar paradigmas en el conocimiento de la física, Newton y Einstein, quienes apasionados por las ciencias y por la comprensión de la naturaleza, expresaron teorías en épocas que se remontan al siglo XVII y XX respectivamente, ofreciendo explicaciones a los fenómenos de la naturaleza y del mundo que los rodeaba, teorías que aún hoy por hoy en el siglo XXI se manejan en los contextos académicos y cotidianos.

Si bien los sistemas culturares de las épocas, en que fueron planteadas las teorías de Newton y de Einstein son distintos, los modos de razonar y las fuentes de conocimiento difieren, lo que implica "que las fuentes de conocimiento se consideran legitimas dependiendo de las imágenes de conocimiento[1] definidas socialmente y no tienen mucho que ver con la óptica, la astronomía o la física, en tanto que, establecer cual fuente será la primaria depende del contexto (Elkana, 1983)"; por lo tanto, el análisis que se hace en este texto no pretende comparar los conceptos de espacio y tiempo desde un nivel cultural, ni determinar cuál es más valido, sino establecer las diferencias que generalmente en la enseñanza de la física no se ponen de manifiesto ocasionando dificultades de comprensión, especialmente cuando se aborda la enseñanza de la relatividad. El propósito es conocer cómo Newton y Einstein conceptualizaron el espacio y tiempo, además de establecer cómo estas conceptualizaciones están a la base de sus teorías, con el fin de aportar elementos para la enseñanza de la física, especialmente de la relatividad en cursos de la educación media vocacional. Se toman estos dos momentos históricos, ya que la teoría de la relatividad, de Einstein, se considera como un rompimiento con la mecánica clásica y la visión Newtoniana.

[1]La experiencia, los sentidos, ideas, la tradición, la autoridad, la novedad, la intuición son consideradas como imágenes de conocimiento las cuales hacen referencia las personas de ciertas culturas, por las que las constituyen como fuentes y legitimaciones de conocimiento (Elkana, 1983).

El espacio y tiempo, están presentes en la cotidianidad como algo evidente, pero implican una amplia problemática cuando se trata de conceptualizarlos, por esta razón las reflexiones sobre el espacio y el tiempo han sido abordadas por áreas disciplinares, como en la filosofía, la psicología, el arte, entre otras; particularmente en la física son conceptos que tienen gran relevancia, ya que son fundamentales en las teorías físicas a partir de la instauración de la mecánica newtoniana y en la consiguiente hegemonía del mecanicismo y se encuentran presentes en la teorías actuales de la física.

Aunque el espacio y el tiempo son fundamentales en las teorías físicas, son conceptos cuya interpretación en la física moderna es diferente de la que se encuentra en la física clásica, especialmente la conceptualización que se hace del espacio y el tiempo en la mecánica clásica, puesto que estos difieren radicalmente de la teoría de la relatividad; éste cambio de significado representa una nueva imagen en el conocimiento y en la observación de los fenómenos de la naturaleza, puesto que a partir de la teoría de campos y de la problemática de la electrodinámica de los cuerpos en movimiento se ve la necesidad de transformar las ideas de espacio y tiempo absolutos a las ideas relativistas, así que la presente investigación muestra esas interpretaciones que establecía Newton y cómo Einstein las aborda, generando cambios para formular la *Teoría especial de la relatividad (TER)*.

Este tipo de investigaciones permite establecer el conocimiento como una actividad de construcción de explicaciones, que implica también edificar y reinterpretar los conceptos que existen en las ciencias, faculta al docente para realizar trabajos que permitan plantear problemas de conocimiento en el aula, es por esto que la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales crea las bases necesarias para realizar estas exploraciones y así animar al docente a apropiarse como un ser activo en la transformación de la enseñanza, por lo tanto éste trabajo genera un modo de proceder para el docente, además se demuestra como la interpretación y la comprensión de conceptos que son fundamentales en la física deben ser de mayor relevancia en el aula, antes de enseñar e ilustrar las diferentes ecuaciones que rige a cada teoría, ya que en aula se ilustran las formulaciones matemáticas, sin evidenciar su procedencia conceptual.

En este trabajo se hace una reflexión acerca de los conceptos de espacio y tiempo presentes en la Mecánica clásica y en la Teoría especial de la relatividad, mediante un análisis de algunas obras de Newton y Einstein, con el fin de aportar elementos para la enseñanza de la física, particularmente de la Teoría especial de la relatividad, en la educación media vocacional; el presente trabajo se

desarrolla en cinco capítulos.

En el primer capítulo del presente documento, aborda la contextualización de la problemática y su justificación, ilustrando cómo son abordados el espacio y el tiempo desde diferentes contextos, como en la filosofía, en la teoría del desarrollo del ser humano, en la física y en su enseñanza, así mismo los aportes que han hecho otras investigaciones para la comprensión de estos conceptos, lo que permite ilustrar y delimitar la problemática del trabajo.

En el segundo capítulo se desarrolla el marco teórico concerniente a los conceptos de espacio y tiempo de Newton y Einstein, introduciendo con la explicación de lo que se considera como la mecánica clásica y su problemática frente a la teoría electromagnética; posteriormente la interpretación de Newton que hace en los *Principia* referente al espacio y el tiempo y algunas objeciones frente al absolutismo, como las que hace Leibniz, finalizando con la problemática de la electrodinámica de cuerpos en movimiento y las ideas de espacio-tiempo en la teoría de la relatividad de Einstein, este capítulo se desarrolla teniendo en cuenta como eje principal, los escritos realizados por I. Newton, *Los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural* y *Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento* de A. Einstein.

En el tercer capítulo se exponen elementos metodológicos y de enfoque en la enseñanza de las ciencias que sustentan este trabajo, se analiza cómo una investigación de corte histórico permite escoger la historia de las ciencias como una herramienta fundamental para la recontextualización de saberes siendo esta una fuente de conocimiento para la enseñanza-aprendizaje de la física.

En el cuarto capítulo se evidencia la interpretación que tienen los estudiantes de grado undécimo del Gimnasio el Lago acerca del espacio y tiempo, el significado de lo absoluto y lo relativo, la cual sirve como base en esta investigación para realizar el análisis en la comprensión y enseñanza de estos conceptos.

Por último, en el quinto capítulo y gracias a las contribuciones de los capítulos anteriores se presentan algunos aportes para la enseñanza de la física y de la relatividad. Concluyendo finalmente con los aportes que este tipo de investigaciones contrae para el docente de ciencias y a la enseñanza de la misma, exponiendo una reflexión de como la comprensión de la construcción y adquisición del conocimiento por medio de estudios de corte histórico permite un acercamiento al aprendizaje de las ciencias.

Capítulo 1

Planteamiento y Justificación del problema

A través de la historia el hombre ha deseado comprender cómo es el mundo que lo rodea, el comportamiento entre la naturaleza y él, permitiéndose formar imágenes textuales, graficas, entre otras, estas que a partir de la experiencia y de las consecuencias habidas, construye las imágenes que le permite edificar su conocimiento, ya que él descifra los eventos que ya ocurrieron para darle explicación a los mismos, aunque es necesario que exista un lenguaje conforme y coherente entre la naturaleza y el pensamiento mismo (Hertz, 1899)[1]. Pues para prever los acontecimientos o construir el futuro solo es posible bajo la interpretación de las imágenes construidas en el pasado (Gimeno Sacristán, 1999).

A su vez, la organización, comprensión y explicación de las imágenes de conocimiento que se generan para dar explicación a los fenómenos que rodean la naturaleza y al hombre, han tenido influencias de diferentes personajes que enmarcan la historia y filosofía de las ciencias, como Aristóteles, Galileo, Newton, Einstein, entre otros, cada uno interpretando el mundo bajo su contexto, cuestionando la de sus antecesores, sin embargo estas interpretaciones, no hubiesen sido posibles si no se tuviese en cuenta dos ideas o conceptos fundamentales, el espacio y el tiempo.

Conceptos que se encuentran ligados a la cotidianidad del ser humano siendo indispensables para organizar su experiencia, con el mundo natural, social y personal (Husserl, 1928), así mismo

[1]Traducido del original por María Cecilia Gramajo, Clara Inés Chaparro y Juan Carlos Orozco para el seminario de Tópicos de Mecánica Clásica de la Maestría en Docencia de la Física de la Universidad Pedagógica Nacional.

como en el desarrollo motriz de las primeras etapas de la infancia, (Laorden & Pérez, 2002). Ademas las imágenes con las que se interpreta el espacio y el tiempo, permiten la creación y comprensión de las teorías científicas, el progreso y avance del ser humano, si bien el espacio y el tiempo puede ser considerado como un problema filosófico, también se encuentra inscrita en la historia de la humanidad existiendo una diversidad conceptual de los mismos (Guarín, 2013).

Acorde con la filosofía, esta representa al tiempo como un principio de orden (Nicol, 1955), Platón definió al tiempo con el movimiento y la rotación de las esferas celestes, por el contrario Aristóteles, en principio mencionaba el movimiento como una ubicación en el espacio que carece de tiempo, existiendo un movimiento rápido o lento, argumentando que "no podemos percibir el tiempo en sí mismo, caemos en la cuenta del paso del tiempo sólo porque percibimos el cambio o movimiento" (van Fraassen, 1978, p. 25); Por otra parte Kant coloca el espacio y al tiempo como dos fuentes de conocimiento que se forman por medio de la intuición sensible, debido a que el conocimiento está dado por la intuición y esta se da por la sensibilidad de la interacción con el objeto, creando una representación del mismo y formando un concepto, por lo tanto es necesaria una intuición a priori, así como el tiempo, que no es un concepto discursivo, sino una intuición sensible (Pacheco, 1999), y el espacio ha de ser apreciado como la condición de posibilidad de los fenómenos, no como un dependiente de ellos (Barinaga-Rementeria, 2004).

Por otra parte, desde la psicología se asume un rasgo importante acerca del espacio y el tiempo, se refiere a los primeros años de vida, la escuela inculca en el niño estos conceptos a través de representaciones visuales que se encuentran en su entorno, permitiéndoles establecer una apropiación de su espacio vital que será proyectado motrizmente a través de sus vivencias, de modo que permita dar una explicación, a su experiencia y una organización a su mundo (Pacheco, 1999). Piaget (1978) plantea que "el espacio es un algo instantáneo captado en el tiempo, y el tiempo es el espacio en movimiento", de ahí que el espacio basta con la coordinación de posiciones simultaneas y al intervenir el desplazamiento no es más que el tiempo mismo.

La construcción de la noción del espacio es un índice del desarrollo humano (Gianni & Melita, 2014), Rael Fuster (2009) interpreta que "la estructuración espacio temporal es un proceso básico en la construcción del conocimiento, porque está ligado a la capacidad de abstracción del ser humano", por lo tanto la abstracción y formalización de un concepto puede estar involucrada con la experiencia, así mismo con la teoría que se esté interpretando Malagón, Sandoval, & Ayala (2013) sugieren que la construcción de esquemas conceptuales son producto de la organización de

la experiencia previa o de la actividad teórica, y estás se encuentran articuladas con la experiencia sensorial.

En cuanto a la física y a las concepciones que se encuentran inmersas en ella, especialmente en la mecánica, se dan bajo la imagen de la representación del espacio, tiempo, masa y fuerza, aunque en la cinemática solo se limita a conectar las ideas de espacio y tiempo (Hertz, 1899). Es así que en la enseñanza de la física, el espacio y el tiempo, se localizan en las descripciones de los fenómenos bajo los contextos de la física newtoniana y de la teoría de la relatividad, introduciéndolos como variables que dan cuenta del movimiento, sintetizándolos en explicaciones a través de formulaciones matemáticas y no haciendo referencia alguna a la importancia que estos tienen, éstas síntesis conllevan implícitamente al significado físico de las variables e implica que la representación matemática es constitutiva de la explicación física.

Isaac Newton (1642-1727), en su libro *Los Principios Matemáticos de Filosofía Natural,* plantea los conceptos de espacio y tiempo, la interpretación de algunos fenómenos de la naturaleza, la caracterización del movimiento, definiendo un espacio y tiempo absolutos, siendo estos indispensables para la formulación de sus leyes (Alemañ, 2008), lo que hoy se conoce como la mecánica de Newton. Por otra parte, el físico Albert Einstein (1879-1955) siendo uno de los personajes más influyentes en la física teórica del siglo XX y reconocido por su artículo *Sobre la electrodinámica de cuerpos en Movimiento*[2], reformula la imagen de absolutismo Newtoniano, formulando una nueva teoría y cambiando las concepciones de espacio y tiempo, dando inicio a una nueva imagen frente a la comprensión de los fenómenos físicos, estas interpretaciones, formuladas en épocas distintas, continúan siendo de gran importancia aún en el siglo XXI, dado que aún se enseña en las aulas por su gran significado y jerarquía para la comprensión de esta ciencia, esta enseñanza se basa en las descripciones de la cinemática y dinámica para la interpretación del movimiento.

Conforme con lo anterior, estos conceptos se encuentran inmersos en la física como conceptos centrales y estructurantes, aunque, con interpretación diferente, en la mecánica newtoniana, el espacio y tiempo son absolutos (García, 1989), a través de la historia otros ilustres físicos y matemáticos debatieron el absolutismo de Newton, como Leibniz (1646-1716), él expone las implicaciones de considerar un espacio absoluto y Mach (1838-1916) la posibilidad de hablar del espacio y la inercia sin acudir al absolutismo del espacio (Cárdenas & Botero, 2009), aunque aun existiendo

[2]Traducción del articulo original "Zur Elektrodynamik bewetwe Körper" en la revista Annalen der Physick 17, 891-921 (1905). Trad. Por Hernando Quevedo (ICN-UNAM) abril 2005. Extraído de https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jcuevas/Teaching/articulo-original.pdf

estas oposiciones, no tuvieron mayor relevancia, sino hasta la formulación de A. Einstein en 1905.

Conforme a Newton, él tenía una preferencia al hablar del espacio y del tiempo de una sola manera, estos son el mismo para todo sistema de referencia e infiltra en las matemáticas la noción de tiempo (García, 1989), es así que la evolución temporal de los sistemas se encuentra explícita o implícitamente en las ecuaciones de la mecánica (Castillo, 2012). Además, introduce el espacio absoluto e inmutable, formula la independencia del tiempo con respecto al cambio, de modo que el tiempo como el espacio es considerado como homogéneo de ahí que este fluye, cambie o no cambie alguna cosa (Pacheco, 1999).

Por otro lado, Albert Einstein da por entendido que el espacio y el tiempo no son un objeto físico, sino una organización de eventos referentes a la simultaneidad relacionándola con la velocidad de la luz, esta última es vital para la *Teoría Especial de la Relatividad (TER)*, estableciendo dos postulados, las leyes físicas son invariantes al sistema de referencia inercial y la velocidad de la luz es constante en todos los sistemas de referencia. El tiempo se concibe a través de cada observador en su sistema, cada uno tiene su propio tiempo, comprendiéndolo desde la simultaneidad de los eventos, a diferencia de la propuesta en la mecánica clásica donde para todos, el tiempo era el mismo (García, 1989), las nociones de espacio y tiempo cambian dependiendo del observador que tome la medida por lo tanto en esta teoría se habla del espacio-tiempo como uno solo.

Ahora bien, las diferentes concepciones que existen sobre los conceptos del espacio y tiempo entre dos teorías relevantes en la física, permite plantear propuestas investigativas para la comprensión conceptual y enseñanza de los mismos a partir de la pregunta ***¿Cómo la interpretación del espacio-tiempo entre la mecánica clásica y en la teoría de la relatividad, puede aportar elementos que faciliten la enseñanza de la física en el aula?***

Puesto que en el aula, durante las cátedras de física, las ecuaciones son presentadas como herramientas de cálculo sin explicitar el significado físico que tiene el espacio y el tiempo, ello puede llevar a pensar que el espacio y el tiempo de la mecánica es el mismo de la teoría de la relatividad, presentándose así, una gran dificultad en los estudiantes para la comprensión de aspectos y conceptos que abordan estas teorías, debido a que se da por entendido que los estudiantes tienen claridad sobre lo que es el Espacio y el Tiempo en la física; si bien esta situación no es una limitación para hacer cálculos mediante las ecuaciones, resulta ser un obstáculo para la comprensión de las teorías físicas y es especialmente problemático para la teoría de la relatividad, ya que aspectos

como la dilatación del tiempo, la contracción del espacio, la cuarta dimensión[3] y el concepto de espacio-tiempo resultan contra intuitivos en relación con las ideas que tienen los estudiantes sobre el espacio y el tiempo, Toledo y otros (citado por Perez & Solbes, 2003) menciona que los estudiantes se encuentran frente a las situaciones de la fisica clásica y moderna donde no pueden aceptar o corroborar la eficiencia de cada una, solo están bajo sus contenidos de una manera superficial.

En relación a la problemática planteada en el campo de la docencia debe existir un conocimiento y contextualización amplia referente a las temáticas que aborden la formación disciplinar del docente, esto fortalece la enseñanza-aprendizaje de los estudiantes; por ejemplo, en las ciencias-física, se enseñan conceptos donde se involucran ecuaciones a solucionar y constantemente se encuentran variables como el espacio y el tiempo, la contextualización que brinda el docente en el aula respecto a estos conceptos particularmente la realiza desde una perspectiva newtoniana, puesto que es la imagen más común y general en la explicación de los fenómenos naturales, desde el movimiento acelerado de los cuerpos, hasta el movimiento planetario (Martinez & Ros, 1996) y al ser una contemplación constante en la enseñanza de la física devalúa las demás concepciones que se han generado o han tenido transcendencia en el estudio de la física.

Por ende no se presta atención a la importancia que hay en la concepción de estos conceptos, esto debido a que cada uno se fundamentó en épocas diferentes y en los libros de texto y en las aulas se enseña una sola postura, es así que nace una necesidad de complementar y fundamentar la comprensión del Espacio y Tiempo, estos tienen un significado bastante relevante en las ciencias, en especial en la Física, ya que permitieron generar una revolución científica a inicios del siglo XX, siendo de vital importancia en la historia de la física.

Además, en libros de texto se presentan las concepciones que Newton o Einstein tenían acerca del espacio-tiempo, así mismo, resaltan otros pensadores que hablaban sobre estos conceptos, como Leibniz y Mach, pero no evidencian cuál es la importancia del conocimiento e interpretación del espacio y del tiempo, para la comprensión de la teoría de la relatividad; en vista de que son conceptos significativos en la física, el docente debe tener presente y estar consiente cual es la importancia de conocer estas concepciones y cómo se introdujeron para el desarrollo de la física moderna, en relación con esto el presente documento pretende evidenciar la interpretación de estas variables a través de un estudio de corte histórico, que enmarcan el espacio y el tiempo de Newton y Einstein para la formulación de sus teorías y la influencia de estos para la enseñanza y comprensión de la

[3]En la mecánica Newtoniana se considera solo las tres dimensiones espaciales

Teoría especial de la relaividad (TER) en la enseñanza de la física en el aula.

Por lo tanto, establecer un estudio histórico-crítico, permite la re-contextualización de saberes, donde, las discusiones corte histórico y epistemológico acceden a la reflexión y el que hacer del conocimiento científico (Ayala M. , 2006), retomando así las ideas de espacio y tiempo absolutos propuestas por Newton en los *Principia* y los de Einstein en la teoría de la relatividad, donde re formula la concepción del espacio-tiempo para su formulación teórica.

1.1. Antecedentes

Para desarrollar el presente trabajo de investigación se consultaron algunas monografías, trabajos de especialización y maestría desarrolladas en la Universidad Pedagógica Nacional, así como artículos en los que se desarrollan temáticas frente al espacio-tiempo en la física; los cuales son los conceptos principales que enuncian el eje principal del trabajo que se desarrollará en las siguientes páginas. Los trabajos consultados son los siguientes:

- ***La Diversidad Conceptual y Epistemológica de los conceptos de Espacio y Tiempo,*** por Edgar David Guarín Castro, tesis para optar por el título de magister en docencia de las Ciencias Naturales, elaborada en el año 2013.

  Esta investigación es cualitativa con enfoque descriptivo e interpretativo, que es llevado a estudiantes de educación media vocacional (decimos y undécimos). Presenta un recorrido histórico desde la antigua Grecia hasta la aparición de la teoría de la relatividad de Einstein, pasando por cortes pedagógicos, filosóficos, cognitivismos y físicos. En donde se encontró un modo de hablar respecto a estos dos conceptos para estos estudiantes.

- ***La noción de marco de referencia y sistema de referencia para la enseñanza de la relatividad del movimiento en la física clásica,*** por Oscar Fernando Gallo,trabajo de grado para optar por el título de Licenciado en Física, elaborada en el 2012.

  Un trabajo que evidencia las concepciones del movimiento a través de la historia, mostrando la importancia del marco de referencia para abordar la relatividad del movimiento, los conceptos de espacio y la dificultad de los estudiantes en el manejo de estos conceptos.

- ***Una propuesta didáctica para abordar la evolución de los conceptos de espacio y tiempo en la educación media,***por Johan David Herrera Agudelo & Daniel Andrés Medina Ochoa, trabajo de grado para optar por el título Licenciado en Física, elaborado en el 2011.

  Este trabajo muestra cómo los problemas de la luz inicío el camino sobre los cambios del espacio-tiempo, mostrando el desarrollo matemático introducido por las transformaciones de Lorentz, el experimento de Michelson-Morley de igual manera enuncia como concebía el espacio y tiempo Newton y Einstein explicando los postulados de la teoría de la relatividad especial, queriendo con esto mostrar en el aula la diferencia del espacio y el tiempo en la física clásica y moderna.

- ***Caracterización del Espacio-Tiempo de Minkowski,***por Mauricio Andrés Vargas Durango, trabajo de grado para optar al título Licenciado en Física, elaborada en el año 2009.

  Este documento muestra cómo se caracterizó el concepto de espacio y tiempo en I. Newton, A. Einstein y Minkowsky donde este último forjo la estructura cuadrimensional para la formulación de la teoría de la relatividad.

- ***El tiempo en la mecánica de newton, la relatividad especial y la mecánica cuántica.*** Por Virgilio Niño, Artículo de la Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia vol. pp-25-34. Publicado en el año 2001.

  Artículo que busca una interpretación del tiempo en tres campos de la física, la mecánica newtoniana, la teoría de la relatividad y en la mecánica cuántica, relacionando las flechas de tiempo de Eddintong con la mecánica Newtoniana, exponiendo el tiempo desde un punto metafísico entre estos tres campos de estudio de la física, sin profundizar en la importancia o construcción del concepto de tiempo en estas ramas.

- ***Construcción de la noción de espacio físico,***por Jelbes Rodolfo Blanco Rivero,trabajo de grado para optar por el título de especialista en docencia de las ciencias naturales para nivel básico, elaborada en 1995.

  Este documento resalta la importancia de la construcción de categorías de pensamiento en la construcción de su espacio físico para la observación del movimiento de su entorno y así formalizar conceptos que enmarcan la vida cotidiana, como lo son el espacio y el tiempo.

- ***Hacia la representación del espacio,*** por Mercedes Guevara de Jiménez & Rafael Tovar,trabajo de grado para optar por el título de especialista en docencia de las ciencias natu-

rales para nivel básico, elaborada en 1995.

Esta investigación muestra cómo el espacio es un conjunto de propiedades y relaciones para el desarrollo del niño y las representaciones que realiza en su entorno, así mismo en la construcción de la noción del espacio a partir de las sensaciones cuando realiza actividades que lleva de lo bidimensional a lo tridimensional.

- ***El tiempo en la física: de Newton a Einstein.*** por Manuel García Doncel, Artículo Revista Enrahonar (15), pp-39-59, publicado en el año 1989.

  Artículo que evidencia los conceptos de tiempo en la física describiendo los aportes realizados por Galileo, así mismo de Newton en los Principios Matemáticos de Filosofía Natural, relacionando las ideas Kant con la mecánica newtoniana, finalizando con el tiempo en la relatividad de Einstein, aunque se basa solo en el tiempo, no construye de la misma manera la interpretación del espacio.

- ***Hacia un análisis de la teoría especial de la relatividad,***por Edgar Antonio Sánchez O, tesis para optar por magister en Educación con especialidad en Física, elaborada en el año 1982.

  Es una investigación conceptual que abarca las problemáticas que existieron antes de la formulación de A. Einstein, mostrando cuales fueron las dificultades e investigaciones que se realizaron durante la época, para comenzar hablar del espacio y del tiempo, en algunas teorías dos conceptos por separado y en otra que están ligados uno del otro.

Estas investigaciones documentadas y/o artículos presentan los modos de hablar y el lenguaje cotidiano referente al espacio y al tiempo, además cómo se encuentran inmersos en las teorías de la física, en especial en la teoría de la relatividad, cómo se enuncia el espacio-tiempo en las expresiones matemáticas, así mismo muestran las dificultades e interpretaciones en la compresión de estos conceptos por parte de los estudiantes.

Los trabajos presentados, aunque abarcan los temas de espacio y tiempo no evidencian la caracterización, la interpretación, el significado histórico y conceptual que tuvieron en la mecánica Newtoniana y la teoría de la relatividad de Albert Einstein; no denota cual fue la problemática para generar el cambio de paradigma entre estos conceptos y así generar una revolución en la comprensión de los fenómenos de la naturaleza, formulando nuevas teorías físicas y haciendo participe en el nacimiento de la física moderna.

La revisión de investigaciones que muestren los procesos de enseñanza-aprendizaje acerca de los conceptos de espacio-tiempo son fundamentales para el trabajo que se desea desarrollar en la presente investigación, puesto que permite enfocar la problemática deseada y realizar una reflexión frente a estos procesos, ya que se puede comenzar a construir habilidades de pensamiento en ciencias desde los niveles básicos fomentando así el espíritu científico.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Realizar un estudio de los conceptos de espacio y tiempo en la mecánica newtoniana y en la teoría de la relatividad especial, mediante una revisión histórico-critico a los trabajos de Newton y Einstein.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar y categorizar los conceptos de espacio y tiempo de la mecánica clásica y relativista, mediante un análisis de corte histórico entre las dos concepciones.
- Proponer la investigación de corte histórico como fuente de conocimiento, a través de la historicidad de las ciencias y la recontextualización de saberes.
- Aportar elementos que contribuyan a la comprensión conceptual de la Teoría de la relatividad Especial en el aula, a través de las diferencias e interpretaciones del espacio y el tiempo entre la física clásica y relativista, para la transformación en la enseñanza de las ciencias..

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Los Conceptos de Espacio y Tiempo

2.1.1. La Mecánica Clásica

La rama de la mecánica en la física es sin duda la más estudiada en las aulas de clase, las principales concepciones en las que se basa son el espacio, tiempo, masa y fuerza (Hertz, 1899), los estudios referente al movimiento se atribuyen a las experimentaciones hechas por Galileo Galilei (1564-1642), pero fue Isaac Newton quien retomando estos trabajos y aportando sus conocimientos escribió *los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, desarrollando las leyes de la mecánica, dando comienzo a la mecánica clásica que actualmente se conoce. Hoy por hoy se conocen dos ramas de la mecánica clásica: la cinemática y la dinámica, la primera, hace referencia a la ciencia del movimiento, ante lo cual Hertz afirma que esta se encarga de vincular las ideas de espacio y tiempo a partir de la concepción de Inercia propuesta por Galileo, estableciendo una conexión entre espacio, tiempo y masa únicamente. La segunda, la dinámica, en ella se encuentran inmersas las leyes planteadas por Newton y el análisis causante del movimiento, conectando las cuatro principales ideas en lo que estaba basada la mecánica (espacio, tiempo, masa y fuerza). Durante siglos posteriores se continuo con el abordaje de la mecánica, donde se plantearon nuevas formulaciones, críticas y aceptaciones sobre esta, como la mecánica de Hamilton, Lagrange, las cuales se enfocaban desde un punto energético (cinética y potencial), Mach, Hertz y sobre todo Leibniz quien fue uno de los más grandes opositores a las ideas newtonianas, resaltando que la física newtoniana no aportaba los

elementos suficientes para la explicación de la Naturaleza (Rada, 1980), estas diferentes posturas dialogan sobre la formulación, exposición y comprensión de la mecánica.

> "Las ideas fundamentales de la mecánica junto con los principios que las conectan, representan la imagen más simple que la física puede producir de las cosas en el mundo sensible y de los procesos que ocurren en él." (Hertz, 1899)

Por consiguiente, desde el comienzo de la formulación teórica de la mecánica newtoniana tuvo varios opositores, esta teoría en ocasiones no era compatible con otras que iban surgiendo a través de los años, como la teoría electromagnética que se preside por las ecuaciones de Maxwell, aunque estas aclaran como la electricidad y el magnetismo puede ser un solo fenómeno, asemejándose a la ley universal de gravitación de Newton, así como una gran masa puede generar una fuerza de atracción gravitacional sobre otra más pequeña; un cuerpo cargado eléctricamente y en movimiento produce una fuerza electromagnética sobre otro, aparentemente entre estas dos teorías existe una acción a distancia, Maxwell la interpreta como un campo electromagnético, alrededor de una carga en todo punto del espacio existe una fuerza electromagnética (Hacyan, 2002).

Considerando las leyes del electromagnetismo, estas no cumplen con el principio de relatividad de Galileo[1], ya que una carga eléctrica inmóvil genera un campo eléctrico $\vec{E}$, pero esta al colocarse en movimiento genera otro campo, siendo este un campo magnético $\vec{B}$, ambos campos dependen tanto del tiempo como de coordenadas espaciales (Gutiérrez, 2010), por lo tanto al realizar una transformación del movimiento establecida por el principio de relatividad de Galileo entre el sistema de referencia de la carga inmóvil y la carga en movimiento, existe una incompatibilidad entre los sucesos observados, puesto que, según las leyes del electromagnetismo durante el movimiento de la carga se encuentran presentes ambos campos $\vec{E} + \vec{B}$, y durante un sistema inmóvil solo existe la presencia de un $\vec{E}$ es así que la única solución para que funcionen las leyes del electromagnetismo es escoger un sistema de referencia privilegiado, siendo este un sistema de referencia absoluto, las ecuaciones de Maxwell requerían la idea de un espacio absoluto (Hacyan, 2002).

Con relación a esta problemática entre la mecánica y el electromagnetismo, a inicios del siglo XX Albert Einstein da un giro exhorbitante en los estudios de la física, en 1905 la publicación de su artículo *sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento*, propone la explicación de algunos fenómenos que la mecánica no había logrado solucionar, sobre todo en el electromagnetismo, aclara

[1]El principio de relatividad Galileano, un cuerpo es medido con relación a otro y en ambos sistemas debe suceder los mismo, puesto que las leyes de la mecánica son las mismas

que “se sabe que cuando la electrodinámica de Maxwell -tal como se suele entender actualmente- se aplica a cuerpos en movimiento, aparecen asimetrías que no parecen estar en correspondencia con los fenómenos observados... el fenómeno que se observa, depende solamente del movimiento relativo...” (Einstein, 1905). Con base a este articulo la mecánica conocida hasta inicios del siglo XX cambio por completo, en especial los conceptos de movimiento, espacio y tiempo; por lo tanto, atribuiremos el nombre de la mecánica clásica desde los estudios de Newton hasta los planteamientos de Einstein.

2.1.2. Isaac Newton

Es uno de los nombres más mencionados en la historia de las ciencias, su formulación de las leyes de movimiento en *Los Principia*, revolucionó el mundo científico y la concepción con la que se percibía.

> “Nacido el día de Navidad de 1642 en Woolsthorpe, una granja de cierto rango, con unos cien acres de tierras de su pertenencia, y un par de meses después de la muerte de su padre, nadie podría haber predicho que aquel sietemesino que –cabía en una jarra de cuarto (de galón)—como, según decía él, había comentado su madre cuando nació, habría de ser un día sir Isaac Newton, presidente de la Sociedad Real de Londres. (Rada García, 2013, p. 10).”

La teoría newtoniana es una de las más estudiadas a lo largo de los siglos, aunque Hestenes (1999) (citado por Sebastiá, 2013) presenta que en algunos libros de textos no explican a profundidad las hipótesis de esta, como las concepciones de espacio y tiempo absoluto y no referencian las diferencias entre las nociones intuitivas y formulaciones científicas, por lo tanto, a continuación, se presenta la concepción de espacio y tiempo para Newton.

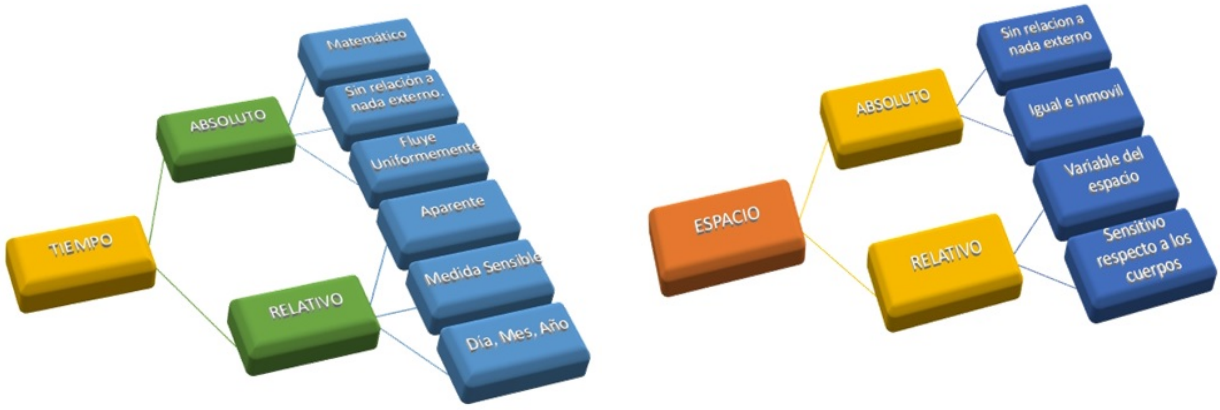
2.1.3. El espacio y el tiempo absoluto.

La mecánica, en su definición coloquial y cotidiana, es el estudio del movimiento, desde un punto cinemático, el tiempo es un parámetro real que permite conocer el orden de los eventos y es necesario de un sistema de referencia, el cual se le atribuye a una ubicación espacial (Consenza, 2016), la interpretación del espacio y tiempo son piezas claves y fundamentales para la comprensión de la física clásica y moderna en especial en su enseñanza

Newton establece una noción de espacio y tiempo absolutos, para él el *espacio absoluto* es el escenario del movimiento y el movimiento es la variación de la posición en el espacio, este espacio ha de ser euclidiano tridimensional existente en el tiempo, siendo el tiempo unidimensional y en una única dirección, es posible que, al no aceptarse la objetividad del espacio absoluto, no sería posible comprender la mecánica newtoniana (Maudlin, 2014).

Por lo tanto, Newton establece los conceptos de espacio y tiempo como:

> I. El tiempo absoluto, verdadero y matemático en sí y por su naturaleza y sin relación a algo externo, fluye uniformemente, y por otro nombre se llama duración; el relativo, aparente y vulgar, es una medida sensible y externa de cualquier duración, mediante el movimiento (de la medida igual o desigual) y del que el vulgo usa en lugar del verdadero tiempo; así, la hora, el día, el mes, el año.
>
> II. El espacio absoluto, por su naturaleza y sin relación a cualquier cosa externa, siempre permanece igual e inmóvil; el relativo es cualquier cantidad o dimensión variable de este espacio, que se define por nuestros sentidos según su situación respecto a los cuerpos, espacio que el vulgo toma por el espacio inmóvil: así, una extensión espacial subterránea, aérea o celeste definida por su situación relativa a la Tierra. El espacio absoluto y relativo son el mismo en especie y magnitud, pero no permanecen siempre el mismo numéricamente. Pues si la Tierra, por ejemplo, se mueve, el espacio de nuestra atmósfera que relativamente y respecto a la Tierra siempre permanece el mismo, ahora será parte del espacio absoluto por la que pasa el aire, después otra parte y así, desde un punto de vista absoluto, siempre cambiará. (Newton, 1987, pp. 127-128)



(a) (b)

Figura 2.1: *Tiempo y Espacio Absolutos*

Así, a través de la interpretación de Newton en *Los Principia*, él concibe el *tiempo absoluto* como una continuidad, un simple concepto y a partir de ello lo introduce como una abstracción matemática para poder hablar de igualdad en todos los sistemas (Lara & Miranda, 2001) siendo

un parámetro en sus ecuaciones, que son los intervalos de tiempo en el movimiento (Hacyan, 2004. p. 46), por otro lado, separa que "el espacio es infinito e inmóvil, homogéneo, isotrópico y es inseparable, no está condicionado por nada externo, es decir absoluto [. . .] las cantidades de espacio y tiempo son absolutas, matemáticas, reales, pero no son objeto de la experiencia pues no tienen relación con nada externo" (Niño, 2001, p. 28). Establecía que la idea de un espacio absoluto semejaría a un sistema de referencia, donde el Universo con respecto a este espacio estaría en reposo (Hacyan, 2002), puesto que la teoría absolutista propone el espacio como una entidad independiente de la existencia de objetos materiales (Bravo, 1984).

2.1.4. El cubo de Newton

La mecánica de Newton es válida al aceptarse el espacio y el tiempo absolutos[2], si se desea determinar los movimientos, pero son conceptos que no son de una percepción sensible, puesto que en el momento de realizar los cálculos se introduce el espacio y el tiempo relativo de cada observador, Newton al no lograr demostrar lo absoluto del espacio y del tiempo de una manera perceptible, propone el experimento de la cubeta de agua que gira (Granes, S. 2005).

> ". . . Si se cuelga un cubo de un hilo muy largo y se gira constantemente hasta que el hilo por el torcimiento se ponga muy rígido y después se llena de agua y se deja en reposo a la vez que el agua, y entonces con un empujón súbito se hace girar continuamente en sentido contrario y, mientras se relaja el hilo, persevera durante un tiempo en tal movimiento, la superficie del agua será plana al principio, al igual que antes del movimiento del vaso, pero después, al transmitir éste su fuerza poco a poco al agua, hace que ésta también empiece a girar sensiblemente, se vaya apartando poco a poco del centro y ascienda hacia los bordes del vaso, formando una superficie cóncava (como yo mismo he experimentado) y con un movimiento siempre creciente sube más y más hasta que efectuando sus revoluciones en tiempos iguales que el vaso, repose relativamente en él. Muestra este ascenso el intento de separarse del centro del movimiento, y por tal intento se manifiesta y se mide el movimiento circular verdadero y absoluto del agua, y aquí contrario totalmente al movimiento relativo. . . " (Newton, 2013, pp. 131-132).

La figura 2.2, representa lo enunciado por Newton en *Los Principia*; En el momento 1, la cubeta comienza a girar, en este caso se puede inferir que el agua está en reposo aún; luego en el momento 2, el agua comienza a girar creándose una superficie cóncava, la fuerza hace que el agua se adhiera

[2] "Las ideas de Newton sobre el espacio y tiempo se gestan desde sus años de juventud [. . .]" véase en Granés, S. José. (2005). EL tiempo y el espacio en la física de Newton: Orígenes de la concepción newtoniana. Isaac Newton: Obra y contexto una introducción. (151-174). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Bogotá

a las paredes de la cubeta; en el momento 3, la cubeta frena, pero el agua sigue su movimiento de remolino y con su forma cóncava, finalmente en el momento 4, el agua frena y vuelve a su posición original, plana.

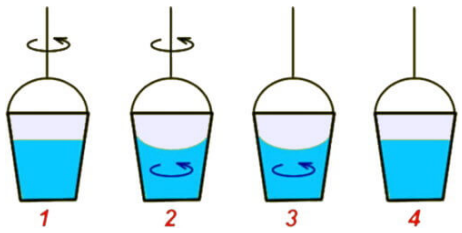


Figura 2.2: *Cubo de Newton y el espacio absoluto.*
Extraída de: http://www.astromia.com/astronomia/espacioabsoluto.htm el 4 de Septiembre 2016

> "... todas las partes de los cuerpos que giran tienden a separarse del eje del movimiento y la fuerza de los móviles que se desplazan surge de la fuerza conjunta de las partes singulares. Así que, al mover los recipientes de los cuerpos, se mueve también las cosas que reposan relativamente dentro de esos recipientes. Y, por tanto, el movimiento verdadero y absoluto no puede definirse por la traslación respecto a las cercanías del cuerpo que son consideradas como en reposo. Porque los cuerpos exteriores deben, no solo ser considerados en reposo, si no también reposar verdaderamente. [...] Por consiguiente, todos los movimientos, que surgen del movimiento de sus lugares, son partes solamente de movimientos totales y absolutos, y todo movimiento completo se compone del movimiento del cuerpo de su lugar primero, y del movimiento de este lugar del suyo, y así sucesivamente hasta que se llegue al lugar inmóvil..." (Newton, 2013, p. 130).

Teniendo en cuenta a este experimento Newton establece que la rotación del agua no es con relación a las paredes del vaso, si no con la del espacio, el espacio absoluto (Cárdenas & Botero, 2009); ya que aún en reposo el vaso con agua seguía con movimiento y retoma la relatividad de Galileo donde un movimiento es medido con relación a otro, por lo tanto, no concebía que el universo girara alrededor de un objeto, donde finalmente concluye que debe existir un espacio absoluto donde se pueda medir todo movimiento. En relación con el tiempo absoluto, trata de relacionarlo con el movimiento de los astros y las relaciones matemáticas, pero en sus *Principia* menciona que la medida natural puede ser igual o desigual, no le da importancia a este hecho puesto que este tiempo solo tiene un fin matemático, un parámetro en las ecuaciones de movimiento (Hacyan, 2004). Aceptando sus tesis del espacio y el tiempo, como conceptos, Newton logra establecer sus leyes del movimiento, que aún en la actualidad siguen siendo hincapié en el estudio y enseñanza de la física.

2.1.5. La discusión de Leibniz

Leibniz [3] (1646-1716), no conforme con las definiciones de espacio y tiempo, cuestiona las ideas newtonianas, él define el espacio y el tiempo como ordenes de relación, siendo relativos con orden de coexistencia y el tiempo es un orden de sucesiones, este orden permite la existencia de las cosas, refuta que el espacio absoluto está en contra de toda razón. Ante esto Samuel Clarke defensor del absolutismo newtoniano, defiende que el espacio y el tiempo son una propiedad, una consecuencia de la existencia y que no depende de la situación, ni del orden (Blanco, 2005). Por lo anterior Leibniz defiende su idea argumentado que si solo existiese un espacio homogéneo e infinito pero real, todo punto o lugar en el espacio sería igual o equivalente a cualquier otro y, no habría sentido de que Dios creara el mundo material en un lugar específico o en otro, siendo ésta una arbitrariedad de Dios, lo cual no es racional para él. Y si el tiempo es continuo y homogéneo tal como lo plantea Newton, no existirá razón para que Dios creara el mundo en un determinado tiempo, por lo tanto las ideas de espacio y tiempo newtoniano no pueden concebirse como entidades independientes de la materia (Granés, 2005), Aunque Leibniz aclara:

> "No digo que la materia y el espacio sean la misma cosa; digo solamente que no hay espacio allí donde no hay materia y que el espacio en sí mismo no es una realidad absoluta. El espacio y la materia difieren como el tiempo y el movimiento, sin embargo, esas cosas, aunque diferentes, son inseparables" (Rada, 1980. p. 119).

Así, Leibniz da un génesis a las ideas relativistas del espacio y el tiempo, de igual manera relacionándolas e intentando decir que éstas dos son un solo concepto e interpretación, por lo tanto décadas después Mach (1838-1916) ante los principios newtonianos, menciona que Newton está en una concepción metafísica del espacio y el tiempo absoluto, explicando que el movimiento de un cuerpo sólo es posible calcularlo mediante la referencia de otros cuerpos, no hay sistemas privilegiados ni absolutos, todos son relativos. Cuestiona el experimento de la cubeta de agua[4]. girando, donde se debe indagar cual es el verdadero movimiento de los objetos y su relación entre ellos (Cárdenas & Botero, 2009).

[3] Gottfried Wilhelm Leibniz, filósofo, matemático, bibliotecario y político alemán, representante del racionalismo, defendió la física de la energía y opositor las ideas de espacio y tiempo de Newton. Consultado en http://www.biografiasyvidas.com/biografia/l/leibniz.htm.

[4] Newton solo toma relación entre el espacio absoluto y la cubeta de agua, por lo tanto, en necesario tener en cuenta los demás cuerpos que participen en el movimiento.

2.2. La Teoría de la Relatividad

Sin duda la teoría newtoniana fue la más aceptada por varios siglos, pero esta teoría, tal como lo menciona Berkson (1981) "no predecía, ni explicaba la cohesión, fuerza que mantiene unidos los cuerpos, ni las fuerzas eléctricas, ni magnéticas por lo tanto a principio del siglo XIX se comenzó el desarrollo de las teorías de campos para explicar la acción a distancia de un cuerpo sobre otro."

> Todos los teóricos del campo, desde Descartes hasta Lorentz, concebían el campo como una sustancia física, algo dotado de propiedades perfectamente especificables que se conservaban a través de cambios continuos en el espacio y en el tiempo. Einstein rechazó la sustancialidad del campo y, siguiendo el principio de relatividad, trató de construir una nueva teoría de campos. (Berkson, 1981, p. 344).

Esta nueva teoría de campo de Einstein se ve reflejada cuando llega su teoría de la relatividad general, explicando el fenómeno de gravitación dándole un sentido geométrico al espacio, pero todo esto no se llevaría a cabo sin antes comprender la formulación de la teoría de la relatividad especial, la cual nació para dar explicación a los fenómenos electromagnéticos cuando se aplicaba el principio de relatividad.

2.2.1. Albert Einstein

Einstein fue uno de los físicos más influyentes del siglo XX, ganador del Premio Nobel en Física por su trabajo en el efecto fotoeléctrico y fundador de la teoría especial y general de la relatividad. Nació en Ulm, Alemania en 1879 y descendencia Judía, revoluciono la física tras la publicación de los artículos *sobre un punto de vista heurístico relativo a la producción y transformación de la luz, sobre el movimiento requerido por la teoría cinético-molecular del calor para partículas pequeñas suspendidas en fluidos estacionarios* y el articulo fundamental en el que da origen a la teoría de la relatividad especial cambiando los conceptos newtonianos sobre el espacio y tiempo, uniéndolos como un solo ente (Sánchez, Ron, 2000), *sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento.*[5].

[5]En este artículo Einstein quería mostrar el movimiento en los fenómenos electromagnéticos, las ecuaciones de maxwell eran incompatibles con el principio de relatividad de Galileo al pasarlas de un sistema de referencia a otro (Hacyan, 2004)

2.2.2. El problema de la electrodinámica de los cuerpos en movimiento

El problema de la electrodinámica de los cuerpos en movimiento se inicia a partir de los problemas óptico. A través de la estructura de la luz, esta se consideraba como una onda, bajo la atribución de Newton era minúsculos corpúsculos; la teoría ondulatoria de la luz marchó por varios científicos, Bradley, Young, Arango, Fresnel, Stokes y los experimentos de Michelson-Morley dieron un gran aporte, donde la velocidad de la luz es independiente de la dirección en la que se propague, pero aun así ¿Qué era la luz? en los trabajos de Maxwell se da por sentado que la luz no es más que un fenómeno electromagnético, que se consideraría más adelante como una onda electromagnética (Sánchez Ron, 1983), dando así una explicación de la naturaleza de la luz, pero al considerarse la luz como una onda, se debía considerar en qué medio se propagaba, Maxwell intentaba mostrar un concepto de campo, pero finalmente en la época se siguió determinando la existencia del Eter[6] (Hacyan, 2004), como medio de propagación de la luz.

Los estudios sobre electricidad y magnetismo realizados por Faraday, Ampere, Hertz, Ostered, entre otros, establecieron un campo de estudio para la física, donde finalmente se unificaron como la teoría electromagnética gracias a las ecuaciones de Maxwell consolidándose como una de las ramas de la física más estudiada.

A causa de esto, Lorentz introduce que la fuerza eléctrica y magnética complementa las ecuaciones de Maxwell para los fenómenos electromagnéticos, pero solo para sistemas en reposo respecto al éter, aunque las ecuaciones de Maxwell describen las variaciones del campo electromagnético, no resalta alguna para la electrodinámica de los cuerpos en movimiento donde se cumpla el principio de relatividad. Lorentz, aun conociendo los problemas para determinar el campo debido a una carga en movimiento realiza una serie de operaciones manipulando las ecuaciones de Maxwell, donde realiza una sustitución del tiempo absoluto como una coordenada, aunque Lorentz atribuía esta sustitución simplemente como una casualidad matemática (Sánchez Ron, 1983).

Einstein (1984), dice que la teoría de Maxwell en lo que confiere a la incorporación de la óptica a la teoría electromagnética, con relación entre la velocidad de la luz y el sistema eléctrico y magnético absoluto era lo más fascinante en su época de estudiante y luego de años de reflexión recuerda la siguiente anécdota:

[6]Sustancia inmaterial que abarca todo el universo, elemento sirve para la explicación de la continuidad de fuerzas, propagación de la luz, movimiento de los astros, la atracción entre cuerpos, entre otros. (Sampieri, 2012)

> la paradoja con la que topé ya a los dieciséis años: si corro detrás de un rayo luminoso con la velocidad de c (velocidad de la luz en el vacío), debería percibir un rayo luminoso como un campo electromagnético estacionario, aunque especialmente oscilante. Pero semejante cosa no parece que exista, ni sobre la base de la experiencia ni según las ecuaciones de Maxwell. De entrada, se me antojó intuitivamente claro que, juzgaba la situación por semejante observador, todo debería desarrollarse según las mismas leyes que para un observador que se hallara en reposo con respecto a la Tierra. Pues ¿cómo podría el primer observador saber o constatar que se encuentra en un estado de rápido movimiento uniforme? [...] todos los intentos de aclarar satisfactoriamente esa paradoja estaban condenados al fracaso mientras el axioma del carácter absoluto del tiempo, o de la simultaneidad siguiera anclado inadvertidamente en el inconsciente. (Einstein, 1984).

A causa de considerarse la luz como una onda electromagnética y la velocidad finita de la luz, la teoría electromagnética tenia ciertos inconvenientes para los cuerpos en movimiento, Einstein resalta que los fenómenos observados en la electrodinámica de Maxwell para cuerpos en movimiento, tiene ciertas asimetrías.

> Pensemos, por ejemplo, en la interacción electrodinámica entre un imán y un conductor. En este caso, el fenómeno que se observa depende solamente del movimiento relativo entre el conductor y el imán, mientras que de acuerdo a la interpretación común se debe distinguir claramente dos casos muy diferentes dependiendo de cuál de los dos cuerpos se mueva. Si se mueve el imán mientras que el conductor se encuentra en reposo, alrededor del imán aparece un campo eléctrico con cierto valor para su energía. Este campo eléctrico genera una corriente en el lugar donde se encuentre el conductor. Pero si el imán está en reposo y el conductor se mueve, alrededor del imán no aparece ningún campo eléctrico, sino que el conductor se produce una fuerza electromotriz que en si no corresponde a ninguna energía, pero da lugar a corrientes eléctricas que coinciden en magnitud y dirección con las del primer caso, suponiendo que el movimiento relativo es igual en cada uno de los casos. (Einstein, 1905).

Bajo esta consideración se evidencian los problemas de la electrodinámica, puesto que en estás situaciones se observa eventos distintos, por lo tanto, esto trasgrede el principio de relatividad Galileano, donde en ambos casos debe observase lo mismo, ya que las leyes de la mecánica deben ser invariantes al sistema de referencia. A su vez, Einstein da por sentado que es necesario conocer cual es la comprensión de lo que realmente significaba las coordenadas espaciales y el valor temporal de un suceso en física (Einstein, 1984), él comienza a estudiarlos desarrollando una nueva teoría en la física y a la vez cambiando conceptos que se encontraban inmersos en la física de la época, conceptos como el espacio y tiempo absolutos.

2.2.3. La abolición del espacio tiempo absoluto

El cambio del concepto del espacio y tiempo que formula Einstein, permite mostrar una imagen del mundo distinta a la planteada por sus antecesores, esta nueva imagen se dio por el interés de Einstein en encontrar un principio en el cual la teoría Electromagnética fuera válida para los cuerpos móviles siendo válido el principio de relatividad.

Para esto, Einstein primero propone que la luz se emite en partículas[7], aunque esta se oponía a la teoría de Maxwell donde la luz era corpuscular y era una onda electromagnética, aun así, sigue en su búsqueda de encontrar las leyes que expliquen los cuerpos en movimiento. Einstein se vio influenciado por los estudios de Mach y a las críticas que éste hacia a las teorías newtonianas, sobre todo a la del espacio absoluto, así mismo Einstein rechazó la idea del absolutismo, esta influencia le permitía cuestionar la teoría newtoniana y construir una nueva mecánica, coincidía que este concepto de absolutismo en el espacio era falso e inaceptable para la ciencia. (Berkson, 1981).

> Poco a poco fui desistiendo de poder descubrir leyes verdaderas por medio de esfuerzos constructivos basados en hechos conocidos. (Einstein, 1948, Citado en Berkson, 1981).

Por lo tanto, Einstein analizaba el principio de relatividad, tenía claro que las transformaciones de Galileo no eran las adecuadas para utilizarlas en su electrodinámica de cuerpos en movimiento, puesto que la interacción de un sistema móvil, debe ser la misma como para un sistema en reposo, recordemos que una carga en movimiento, produce un campo magnético, por lo tanto al usar este principio no especificaba cómo se podía eliminar este campo al hacer la transformación a un sistema en reposo, allí comprendió que necesitaría las trasformaciones de Lorentz, debido a que estas incluían variables de tiempo y distancia. (Berkson, 1981)

Para dar validez a su conclusión hacia a las nuevas trasformaciones a usar, debía plantear unas hipótesis considerando el principio de relatividad, hipótesis que más adelante se vendrían conociendo como los postulados de la Teoría Especial de la Relatividad, siendo estos, la velocidad de la luz es constante y finita y las leyes de la física son válidos en cualquier sistema de referencia. Las trasformaciones de Lorentz involucrá el tiempo como una coordenada más, aparte de las tres espa-

[7]Esta propuesta se deriva a que la teoría de Maxwell y la mecánica estadística relaciona la temperatura de un cuerpo y la longitud de onda de la luz emitida, pero no concordaba con los resultados experimentales. (Berkson, 1981.p. 347)

ciales, pensó que fue una curiosidad matemática, pero Einstein, encontró el verdadero significado físico y un comienzo para abolir el concepto de espacio absoluto.

> para todos los sistemas de coordenadas, en los cuales son válidas las ecuaciones mecánicas, también tienen validez las mismas leyes electrodinámicas y ópticas . . . la luz en el vacío siempre se propaga con cierta velocidad V que no depende del estado del emisor. Basándonos en la teoría de Maxwell para cuerpos en reposo, estas dos hipótesis son suficientes para derivar una electrodinámica de cuerpos en movimiento que resulta ser sencilla y libre de contradicciones. La introducción de un "éter" resultará superflua puesto que de acuerdo a los conceptos a desarrollar no es necesario introducir un "espacio en reposo absoluto" . . . los intentos infructuosos para contrastar el movimiento de la Tierra con respecto al "medio de propagación de la luz" permite suponer que no solamente en mecánica sino también en electrodinámica ninguna de las propiedades de los fenómenos corresponde al concepto de reposo absoluto. (Einstein, 1905).

La existencia del éter en la teoría de Maxwell generaba inconsistencias en el principio de relatividad de Galileo, debido que, al cambiar los sistemas de referencias, las ecuaciones de Maxwell también cambian, alterando este principio, por lo tanto, las ecuaciones solo eran válidas en un sistema de referencia, pero al considerarse solo un sistema privilegiado se mantendría la idea de algo inalterable en el Universo (el éter), un sistema absoluto (Hacyan, 2004), Einstein cuestiona los experimentos para encontrar el movimiento respecto al éter, debatiendo el reposo absoluto.

> los intentos infructuosos para contrastar el movimiento de la Tierra con respecto al "medio de propagación de la luz" permite suponer que no solamente en mecánica sino también en electrodinámica ninguna de las propiedades de los fenómenos corresponde al concepto de reposo absoluto. (Einstein, 1905).

Así mismo, los experimentos realizados por Michelson-Morley en 1887, para encontrar sí la Tierra estaba en movimiento con respecto a este sistema absoluto daría piezas claves para no considerar el absolutismo del éter, éste experimento se fundamenta en que si la velocidad de luz tiene un valor con respecto al éter, éste debía cambiar si se ubicase en un sistema de referencia diferente que se moviera respecto al éter, dicho experimento no encontró variaciones en la velocidad de la luz, aunque nadie de la época daba una explicación diferente respecto a los resultados del experimento hasta Einstein (Hacyan, 2004).

Pero estas hipótesis, los experimentos y la incursión de las transformaciones de Lorentz, no solo da el inicio de una nueva percepción del espacio, sino del tiempo mismo, ya que al considerar

la velocidad de la luz finita, el tiempo en un sistema en movimiento cambiaria, respecto a uno en reposo. Einstein encontraba que habrían dos tiempos, por lo tanto veía la necesidad de cambiar las ideas de espacio y tiempos absolutos y comenzar a concebir la idea de espacio y tiempo para diferentes sistemas (Berkson, 1981), *el tiempo absoluto* no existe, solo hay lapsos de tiempo que dependen de cada observador (Hacyan, 2004).

> cuando queremos describir el movimiento de un punto material, especificamos los valores de sus coordenadas en función del tiempo.(Einstein, 1905).

Pero para dar una definición de tiempo Einstein comienza a cuestionar la simultaneidad absoluta y la sincronización de relojes, ya que, a partir del postulado de la constancia de la velocidad de luz, el tiempo es determinado por el intervalo que tarda en recorrer un rayo luminoso la distancia que separa dos relojes, por lo que se niega de la existencia de un tiempo absoluto (Otero , 1988).

Para negar esta existencia del tiempo absoluto, en su artículo da una idea de cómo sería la sincronización de relojes, básicamente resalta que si un observador que se encuentre con un reloj en un punto A puede presenciar los eventos que se encuentren en su entorno cercano y en un punto B hay otro observador de las mismas características que el primero, pero no es posible comparar los eventos de un observador con el otro, si no hay unas condiciones iniciales, hasta el momento existiría un tiempo para el observador A y un tiempo para el observador B, pero no un tiempo común para ambos.

> Si en el punto A del espacio se encuentra un reloj, un observador que se encuentre en A puede evaluar cronológicamente los eventos en la vecindad inmediata en A, buscando las posiciones de la manecilla del reloj que correspondan simultáneamente a estos eventos. Si en el punto B del espacio se encuentra un reloj -queremos añadir "un reloj de exactamente la misma naturaleza como el que se encuentra en A"- también es posible realizar una evaluación cronológica de los eventos en la vecindad inmediata de B mediante un observador que se encuentra en B. Sin embargo, sin especificaciones adicionales no es posible comparar cronológicamente el evento en A con el evento en B; hasta ahora hemos definido un "tiempo en A" y un "tiempo en B", pero no un "tiempo" común para A y B. (Einstein, 1905).

Por lo tanto y haciendo valida la constancia de la velocidad de la luz y que no depende del sistema de referencia de donde se emita, el tiempo en común seria el "tiempo" que tarda en recorrer un rayo de luz, la distancia del punto A hasta B y viceversa

> el "tiempo" que necesita la luz para viajar de A a B sea igual al "tiempo" para pasar de B a A. Supongamos que una señal de luz parte de A hacia B en el "tiempo A" t_A, llega a B y se refleja de regreso hacia A en el "tiempo B" t_B y finalmente arriba al punto A en el "tiempo A" t'_A. De acuerdo a la definición, los relojes estarán sincronizados si $t_B - t_A = t'_A - t_B$. (Einstein, 1905).

De esta manera propone la sincronización de relojes, pero esto se hace bajo la idea que ambos se encuentran en reposo, Einstein afirma:

> hemos establecido lo que se debe entender bajo relojes sincronizados, que se encuentran en reposo en diferentes lugares y, por ende, obviamente hemos obtenido una definición de "simultáneo" y de "tiempo". (Einstein, 1905).

Por consiguiente, la definición de tiempo es el dato que arroja un reloj que se encuentre en reposo en el mismo lugar del evento, al que Einstein denominó el *tiempo del sistema en reposo.*

> El "tiempo" de un evento es el dato de un reloj que se encuentra en reposo en el mismo lugar y el mismo momento del evento [...] lo importante es que hemos definido el tiempo mediante un reloj que se encuentra en reposo respecto a un sistema en reposo [...] al tiempo que acabamos de definir le llamaremos "el tiempo del sistema en reposo. (Einstein, 1905).

Dicho todo lo anterior, comienza la percepción que no hay un tiempo absoluto, si no lapsos de tiempo que depende del observador y cada observador tiene su tiempo propio (Hacyan, 2004). Al definir el tiempo propio en cada sistema físico destruye el absolutismo del tiempo planteado en la mecánica newtoniana, puesto que en ella una de las consideraciones del tiempo absoluto, era que la velocidad de la luz era infinita y al considerar la velocidad finita como en la relatividad el tiempo depende del marco de referencia (Sommerfeld, 1952).

Por otra parte, la relatividad de la longitud y del tiempo se basa considerando el principio de relatividad y la constancia de la velocidad de la luz, Einstein en su artículo propone analizar la longitud de una varilla que en principio se encuentra en reposo, por lo tanto, tiene una longitud inicial respecto al sistema en reposo. "Consideremos una varilla rígida en reposo de longitud l, la cual se determina igualmente mediante una escala de medición en reposo" (Einstein, 1905). Ahora esta varilla se coloca en movimiento con una velocidad y en una sola dirección, es decir el eje X, preguntándose ¿Cuál será la longitud de la varilla? cuando determinen las siguientes condiciones especiales :

> *a.*) El observador se desplaza junto con la escala mencionada anteriormente y la varilla bajo consideración y efectúa la medición de la longitud superponiendo directamente la escala sobre la varilla, justamente de la misma manera como si la varilla, la escala y el observador se encontraran en reposo.
>
> *b.*) El observador determina los puntos del sistema en reposo en los cuales se encuentran los extremos de la varilla en determinado tiempo t, utilizando para ello relojes que no se mueven respecto al sistema en reposo y han sido sincronizados de acuerdo al procedimiento. La distancia entre dos puntos, determinada mediante la escala en reposo que ya hemos utilizado en este caso, también es una longitud que se puede designar como la "longitud de la varilla". (Einstein, 1905).

Por consiguiente, vemos dos condiciones que se colocan para determinar la longitud de la varilla, una es cuando el observador se mueve con la varilla, la cual debe medir mientras se encuentra en movimiento con la misma escala con la que se midió cuando se encontraba en reposo y la segunda se debe medir, considerando relojes en los extremos de la varilla y que estén sincronizados con el sistema en reposo, esta sincronización se realiza como se explicó anteriormente, según lo planteado en el artículo de Einstein.

Para dar solución a la pregunta y bajo las condiciones estipuladas, se debe tener en cuenta el principio de relatividad, por lo tanto, en la condición a) al tomar la medida esta debe coincidir con la que se encontraba en reposo, puesto que el observador se mueve junto con la varilla, comparten el mismo sistema de referencia, como se afirma en el articulo,

> De acuerdo al principio de la relatividad, la longitud a determina la operación a), que llamaremos "longitud de la varilla en el sistema en movimiento", debe ser igual a la longitud de la varilla en reposo. (Einstein, 1905).

Ahora, se determinará la longitud de la varilla cuando está en movimiento respecto al reposo, desde el punto de vista de la mecánica clásica, las longitudes deben ser las mismas tanto en reposo como en movimiento, pero en este momento se debe considerar nuevamente la constancia de la velocidad de la luz, así como el principio de relatividad; teniendo en cuenta que al emitir un rayo de luz de un punto a otro tarda un tiempo t, a partir de este tiempo se puede determinar la longitud, puesto que la velocidad de esta es finita y la varilla tiene relojes en sus extremos que se encuentran sincronizados con los relojes del sistema en reposo.

> Supongamos además que los extremos (A y B) de la varilla se colocan relojes sincronizados con los relojes del sistema en reposo, es decir, en un instante dado sus indicaciones corresponden

> al "tiempo del sistema en reposo" en las posiciones donde resulte que se encuentren. Por lo tanto, estos relojes están "sincronizados en el sistema en reposo". (Einstein, 1905).

pero al encontrarse en movimiento la varilla se observa que el tiempo que tarda en recorrer el rayo de luz es diferente al tiempo de los relojes que están en reposo con respecto a este, cada sistema tendrá su propio tiempo, al realizar la comparación entre ambos serán diferentes por encontrarse en movimiento, al ser diferente el tiempo la medición de la longitud de la varilla también varía, por lo que se considera que no puede existir un significado absoluto y tampoco de simultaneidad.

> De esta manera vemos que no podemos asignar un significado absoluto al concepto de simultaneidad, y que dos eventos simultáneos desde el punto de vista de un sistema de coordenadas ya no se pueden interpretar como simultaneo desde un sistema de coordenadas que se mueve relativamente con respecto al sistema en reposo." (Einstein, 1905).

Einstein concluye que no puede considerarse un espacio absoluto en la física, pues que el concepto de distancia espacial entre dos puntos solo es posible cuando se está en función del sistema de referencia (Otero , 1988). Por lo tanto, como se ha evidenciado Newton creía en un espacio y tiempo absolutos, matemáticos, independientes cada uno y sin relación alguna con los objetos externos (Maravall, 2007). Einstein invalida el absolutismo, mencionando que es relativo al marco de referencia inercial y así dando una explicación completa a la teoría electrodinámica de cuerpos en movimiento, Sánchez Ron (1983) manifiesta que no existe distinción absoluta en la ecuaciones de Maxwell al aplicar el principio de relatividad, puesto que el campo eléctrico $\vec{E}$ y campo magnético $\vec{B}$ son intercambiables dependiendo del estado de movimiento, hecho que la mecánica de Newton no resolvía para cuerpos en movimiento.

Como se ha evidenciado, la física tuvo que sufrir un cambio en la interpretación de dos conceptos esenciales, tanto para las ciencias como para la cotidianidad del hombre, donde Einstein cambió por completo la forma de ver el mundo, creando teorías distintas a las que por siglos se habían trabajado. Hoy por hoy no se habla en las ciencias del espacio y tiempo por separado, ahora existe una relación de un espacio tridimensional y un tiempo, que ya no son solo unas variables matemáticas, sino un modo de hablar.

2.2.4. Las consecuencias del nuevo concepto de espacio-tiempo

La nueva interpretación del espacio-tiempo permite crear generar una teoría, la teoría de la relatividad y una nueva imagen del mundo, con esta interpretación del espacio-tiempo viene en conjunto la hipótesis de la dilatación temporal, ya que el tiempo no transcurre igual para los diferentes sistemas de referencia, tal como lo plantea Einstein, un objeto al moverse a velocidades cercanas a la luz, experimentara que su tiempo distinto con respecto a un cuerpo que se encuentre en un sistema de referencia en reposo y de igual manera la longitud de un objeto que viaje a velocidades cercanas a la luz, disminuirá su longitud aparente con respecto a un observador en reposo, hechos que se pueden mostrar mediante las transformaciones de Lorentz (Hacyan, 2002).

No solo esta interpretación remodelo la percepción del espacio-tiempo, si no también creo una nueva teoría respecto a la gravitación, conformándose esta como la teoría general de la relatividad, extendió el principio de relatividad de sistemas inerciales a sistemas no inerciales a través del principio de equivalencia (Ortiz, 2013), finalizando en una geometría espacio-temporal, donde la masa de un cuerpo deforma el espacio-tiempo a su alrededor (Hacyan, 2002) y así dando nacimiento a la cosmología moderna.

2.3. Contribuciones del marco teórico

En este capítulo se evidencio la descripción e interpretación del espacio-tiempo de Newton y Einstein, así como las problemáticas que existían en la física, problemáticas que permitieron generar problemas de conocimiento para así formular sus teorías.

Interpretar y describir las concepciones de espacio-tiempo entre Newton y Einstein, evidencia cómo la construcción del conocimiento, exige una manera de pensar y razonar, permitiendo reflexionar frente a las diferentes postulaciones que se hacen a los conceptos de espacio y tiempo, mostrando que sin importar la separación de las épocas, es posible ilustrar como las teorías y la imagen de mundo puede ser modificables cuando una explicación no satisface a otra, sin necesidad de transgredir las leyes fundamentales de la física, la formalización de un concepto genera transformaciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, haciendo participe al docente y estudiante en la reconstrucción de las teorías.

Capítulo 3

Metodología

3.1. Método de Investigación

El presente trabajo se basa en una investigación de corte histórico, buscando reconstruir el pasado de una manera sistemática para verificar y sintetizar hipótesis (Monje, 2011). Para este tipo de investigación lo primero es recolectar o buscar la documentación de los textos originales, luego determinar material segundario en donde ya hayan estudiado estos textos y finalmente analizar los razonamientos efectuados por parte de los autores y así realizar las posibles críticas (Longlois & Seignobos, 2003). Como se evidencia en el marco teórico, se describieron las ideas de espacio-tiempo de Newton y Einstein provenientes de sus textos, así como la interpretación que proporcionan otros autores respecto a estos conceptos.

Por otro lado, para complementar la metodología del presente trabajo se evidencia la importancia de la historia de las ciencias y sobre todo en la enseñanza de las ciencias, junto con esto se propone la recontextualización de saberes y un análisis histórico crítico como aportes a la enseñanza de la física en el aula.

3.1.1. Historia de las Ciencias

La ciencia a lo largo de la historia ha estado enmarcada por diferentes problemáticas y controversias que algunos personajes han desarrollado, actualmente siguen en pie ciertas discusiones

filosóficas y científicas que son presentadas en diferentes aulas de casi todas las especialidades, resaltando ideas de Sócrates, Platón, Aristóteles, Galileo, Newton, Einstein, entre otros, evidenciando como transformaron el mundo filosófico y científico. La contribución de estos pensadores ha permitido el desarrollo del conocimiento, aunque este desarrollo no puede ser entendido de forma lineal y acumulativa, ya que hay problemáticas que a lo largo del tiempo se mantienen vigentes, pero su sentido va transformándose al incluir nuevos hechos y formas de comprender el mundo, permitiendo ver hechos pasados con miradas nuevas donde hoy por hoy esto se puede reflejar en la historia y filosofía de la ciencia.

> "La historia de las ciencias no es como una suma cuyos sumandos nos vayan siendo dados a lo largo del tiempo, de modo que la historia resulte algo así cual máquina de sumar, que, sin modificar los sumandos, vaya juntándolos uno con otros, dándonos en cada momento la suma total del conocimiento científico.
>
> La historia de las ciencias es una evolución progresiva cuyos miembros primitivos y siguientes no pueden unirse sin más alteraciones con los posteriores; tienen que sufrir, por el contrario, una transformación de "sentido" que los modele, amplíe y retoque. Es lo que se ha llamado, cambio de teorías" (García Bacca, 1996, p. 7).

Es así, que al realizar un estudio de corte histórico acerca de las concepciones de espacio y tiempo entre diferentes períodos, especialmente entre la época de Newton y Einstein, se da una comprensión de las teorías que fundaron y son estructurantes en la física.

3.1.2. La historia de las ciencias en la enseñanza.

Orozco (1996) menciona que un estudio histórico es un aporte a la enseñanza de las ciencias formulando un espíritu científico en nuevas generaciones, que permite plantear un espacio contextual reconociéndose una diversidad en abordar problemas que despiertan la atención de los hombres llegando a construir un interés por una disciplina determinada. La historia de las ciencias permite que los docentes de ciencias logren situar problemáticas que dieron origen a los productos intelectuales en la comunidad científica y así el docente pueda configurar rutas en el que aborde la enseñanza de las ciencias como una actividad fundamental en el aula (Castillo, 2008).

A su vez, cada perspectiva histórica permite plantear un punto de vista y desarrollo de las ciencias, donde su divulgación evidencia el progreso de la humanidad (Rodríguez & Ayala, 1996), por lo tanto al realizar un estudio histórico acerca de los conceptos que son pilares en la física, tal

como son el espacio y el tiempo, permitirá una enseñanza asertiva, donde la comprensión de estos se puede obtener conociendo las ideas y discusiones que existieron acerca del espacio y tiempo.

Por lo tanto, a través de este estudio como fundamentación a la historia y enseñanza de las ciencias se puede realizar una recontextualización de los saberes científicos en el aula, puesto que permite revisar críticamente la forma de como se ha construido el conocimiento científico (Orozco, 1996), aunque se interpone la enseñanza de las ciencias como un trabajo bastante arduo, ya que el docente debe mostrar dos competencias, un saber pedagógico y otra en la disciplina (Ayala, 1992). Hilborn (citado por Ayala, 1992) describe que la problemática en la enseñanza de ciencias surge en que los docentes solo comparten la idea de "cubrir contenidos", por lo tanto es necesario seguir un orden cronológico en la historicidad del desarrollo de la física, permitiendo así la elaboración de los contenidos de física a enseñar.

3.1.3. Recontextualización de saberes

La recontextualización de saberes es una herramienta que permite generar una construcción de conocimiento para los procesos de enseñanza y así mismo para la formación del docente dado que la enseñanza de las ciencias se ha basado solamente en la asimilación de teorías por parte de los estudiantes, donde no se profunidza en una comprensión de las problemáticas que llevaron a cabo el origen de las teorías científicas, la recontextualización de saberes permite construir algunos criterios problemáticos sobre las teorías, para explicar las posiciones de estas y al mismo tiempo establecer los diferentes aportes que se han hecho alrededor de la misma (Castillo , 2008), Ayala (2006) establece la recontextualización como una actividad constructiva y dialógica en busca de elementos para la elaboración y solución de un problema.

> "Es decir, no hay propiamente un producto para ser recontextualizado que sea susceptible de ser separado de la actividad de producción de significados y que pueda llamarse conocimiento. Se asume pues, la recontextualización como una actividad que genera las condiciones para que estudiantes y maestros se involucren en la actividad de organizar los fenómenos; y, es precisamente en esta actividad que paralelamente se conforman problemas, se configuran fenómenos y se construyen los aportes de quienes han contribuido a la formación de tradiciones en el conocimiento" (García, E. 1999, citado en Castillo, 2008, p. 78).

La recontextualización de saberes permite crear espacios de análisis, donde se evidencie la construcción de significados conceptuales que existieron en las teorías científicas, en este caso las

ideas de espacio y tiempo que sucumbieron la física debido a las interpretación de Newton y Einstein, sobre estos conceptos, traer significativamente los contextos en los que se desarrollaron las diferentes teorías, permite crear ambientes donde se estimule la adquisición de conocimiento por parte del docente y de los estudiantes, así mismo genera ambientes de aprendizaje estimulando el conocimiento del saber científico y desarrollando el pro de la enseñanza de las ciencias.

3.1.4. Estudio histórico-crítico

Aunque no exista una claridad del lugar de los estudios históricos críticos para el análisis conceptual de los conocimientos científicos, estos permiten, la comprensión de la actividad científica y el desarrollo del conocimiento, dando un valor al contexto de construcción y al significado de los conceptos (Orozco, 2005).

Por lo tanto, se puede establecer la ciencia como una actividad para la comprensión del mundo a través de las condiciones históricas, así mismo se va construyendo y transformando la actividad científica, atribuyendo que el conocimiento científico son procesos, al igual que el conocimiento individual, estos procesos, pueden generar condiciones hacia la enseñanza de la ciencia en donde los individuos o grupos realicen una recontextualización de los saberes científicos (Ayala M., 2006).

> "los conocimientos históricos como los filosóficos del conocimiento científico se realizan con respecto a una intencionalidad al menos con dos propósitos: 1. la comprensión de la actividad cultural y de sus productos en tanto manifestaciones de la racionalidad humana y de los procesos sociales de construcción de realidades y, 2. La socialización de dicha actividad en términos de la legitimación, la divulgación y reproducción de prácticas, valores, objetos y productos [...] para una adecuada comprensión y (utilización) de los estudios histórico-críticos por parte del maestreo de ciencias se requiere, como condición previa, que dicho maestro se reconozca como un sujeto histórico y cognoscente, miembro de un conglomerado humano en cuyo seno unas actividades y ciertas actividades a eventos del devenir natural resultan pertinentes y otras no" (Orozco, 2005).

Desde esta perspectiva los análisis histórico críticos permiten la construcción racional de un concepto y la comprensión de las dinámicas de las ciencias (Fonseca, 2016), por lo tanto, este tipo de investigaciones nos muestra un camino posible en recorrer para la compresión y cambios de paradigmas que existieron referente a los conceptos de espacio y tiempo y la formulación de nuevas teorías en la física.

3.2. Aportes de la metodología

Existen diferentes metodologías tanto cuantitativas como cualitativas que permitan llevar a cabo una investigación que fundamente las teorías que se encuentran inmersas en las ciencias, así mismo enfoques y modelos pedagógicos que permitan su enseñanza-aprendizaje

Pero, la metodología planteada en esta investigación permite mostrar una caracterización en la construcción del conocimiento y en la comprensión de los conceptos de espacio-tiempo para abordar las teorías clásicas y modernas de la física. La formalización de un concepto se puede generar conociendo la historia del mismo, sus aciertos, desaciertos y logros que estuvieron presentes en los contextos donde se plantearon.

Examinar la historia de un concepto va encaminar la recontextualización del mismo, construyendo herramientas que aporten a la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, desde una perspectiva motivante para la adquisición del conocimiento en aula respecto a las ciencias y en la comprensión de las teorías que esta abarca.

Capítulo 4

Conceptos de espacio-tiempo en el aula

Desde que se inician las cátedras de física en una institución educativa se introducen los conceptos de espacio y tiempo para la resolución de problemas basándose en la fundamentación newtoniana, pero solo a un nivel de solución de ecuaciones, en el grado undécimo se pretende ilustrar a profundidad la importancia que tiene estos conceptos para la física, enseñándoles la rama de la física moderna, en el plan de estudios del cuarto periodo para grado undécimo de la Institución Educativa Gimnasio el Lago, se plantea:

P	ENSEÑANZAS	LOGRO DEL PERIODO	PROPOSITO DE LA SESIÓN
CUARTO	4.1 FÍSICA MODERNA 4.1.1 Introducción a la relatividad. 4.1.2 Introducción a la cuántica.	Analizar desde el punto de vista moderno, conceptos como tiempo, espacio y energía, por medio de un recorrido histórico de la física moderna, para su aplicación en teorías macroscópicas y microscópicas.	Aplicar las ecuaciones de la relatividad general y cuántica a problemas contextualizados, por medio de paradojas y analogías, para la solución de problemas con velocidades cercanas a la luz.

Figura 4.1: *Plan de estudios Física, grado undécimos cuarto periodo*

Como se evidencia se anhela analizar conceptos de espacio y tiempo e introducir la relatividad aplicando sus respectivas ecuaciones, pero ¿qué tan significativo puede llegar a ser estas enseñanzas en este nivel educativo? ¿los estudiantes tendrán claro la concepción newtoniana? y el ¿por qué se

dio otra concepción para la física moderna?, son cuestionamientos que el docente debe hacerse en el momento de llevar al aula unas enseñanzas planteadas por la institución, es necesario que realice un trabajo metacognitivo de la importancia y la compresión de los diferentes conceptos, tanto para él, como para sus estudiantes, por lo que a continuación se evidencia cómo los estudiantes identifican los conceptos de movimiento, espacio y tiempo, luego de casi seis años que han recibido la asignatura de física.

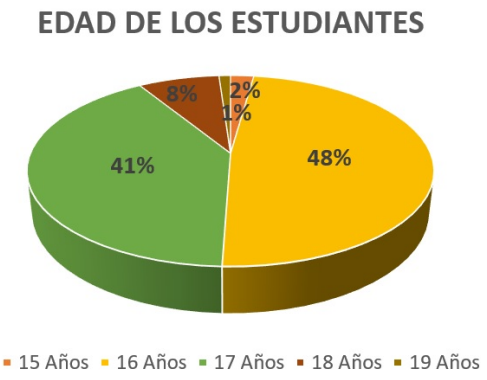
4.1. Descripción de la población

La población a la que se realizó las encuestas, fueron noventa y uno (91) estudiantes de grado undécimo

Colegio:	GIMANSIO EL LAGO
Ubicación:	Calle 74 No. 73A-85
Barrio:	Santa Maria del Lago

la institución cuenta con tres grados undécimos 11A, 11B y 11C, en estos tres grados se realizaron las diferentes preguntas (ANEXO 1), estos estudiantes reciben clases de física desde grado sexto.

Población	11A	11B	11C	Total Estudiantes
Hombres	16	8	18	42
Mujeres	13	21	15	49
Total	29	29	33	91



Cuadro 4.1: *Descripción de la población estudiantil Gimnasio el Lago*

4.2. Primera Indagación

Se realizaron varias preguntas para que el estudiante tuviera varias situaciones y así analizara su respuesta, aunque para la observación y sistematización se tomaron solamente cuatro preguntas siendo estas las más relevantes para el eje fundamental de la presente investigación, este grupo de preguntas se dividirán en dos secciones para el análisis, la percepción del movimiento (4.2.1) y las ideas de espacio y tiempo de los estudiantes (4.2.2).

4.2.1. La percepción del movimiento

En primera instancia se quiso conocer cómo era la percepción del movimiento por parte de los estudiantes para introducir la relatividad Galileana, se les solicito que dibujaran las siguientes situaciones:

Imagínate dos personas, una de ellas se encuentra en un barco en movimiento con una velocidad constante y la otra lo observa desde la orilla de la playa, la persona del barco juega con una pelota que lanza hacia arriba, no tengas en cuenta la fricción del aire.
a. Describe y dibuja la trayectoria que creerías que vería la persona del barco cuando lanza una pelota hacia arriba, recuerda que el barco se mueve con velocidad constante

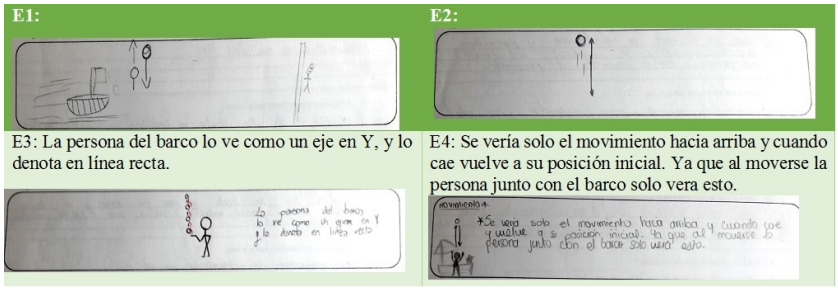


Ilustración 4.2: *Respuestas de los estudiantes para la situación a.*

b. Describe la trayectoria que creerías que vería la persona que se encuentra en la orilla de la playa, cuando la del barco lanza la pelota hacia arriba, recuerda que el barco se mueve con velocidad constante.

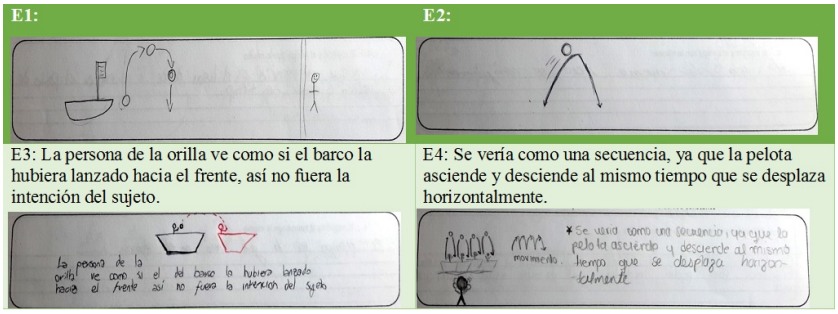
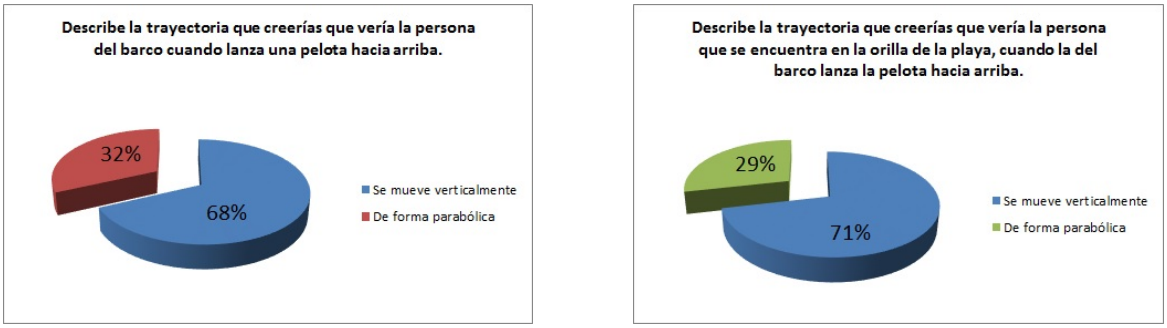


Ilustración 4.3: *Respuestas de los estudiantes para la situación b.*



(a) Situación a.

(b) Situación a.

Gráfico 4.4: *Preguntas referente a la perceoción del movimiento.*

Análisis Percepción del Movimiennto En esta primera sección, se observa en las Ilustraciones (4.2) y (4.3) los dibujos y descripción que algunos estudiantes muestran referente al movimiento, el gráfico (4.4) permite conocer como es el razonamiento por parte los estudiantes cuando se les presenta una misma situación a y b, pero de dos diferentes puntos de vista, es decir, de dos sistemas de referencia, por lo tanto se puede inferir que aproximadamente un 70 % de los estudiantes encuestados conciben que la percepción del movimiento de un cuerpo **cambia respecto de donde se observa**, aunque este análisis se realiza bajo la interpretación de los dibujos por parte de los estudiantes, puesto que no argumentan coherentemente del por qué sucede esto, ni tampoco lo relacionan con los conceptos ni de espacio y ni tiempo.

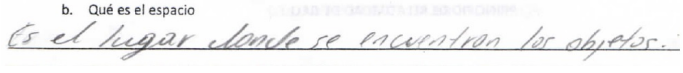
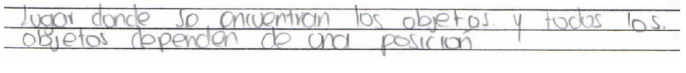
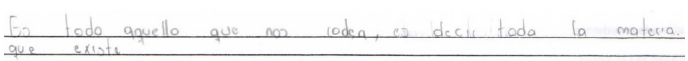
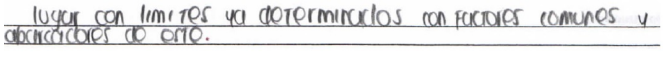
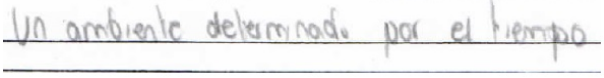
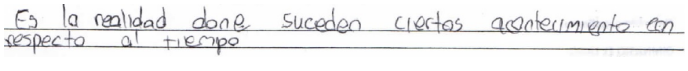
Más allá de una interpretación estadística, observamos cómo los estudiantes tienen unas perspectivas respecto al movimiento, esta situación planteada en el aula, es similar a la propuesta por Galileo en un barco o las que se encuentran en libros de texto, cuando un tren esta en movimiento con velocidad constante y se lanza una pelota, preguntado cuál será la trayectoria observada por una persona fuera del tren y cómo será por la que lanza la pelota.

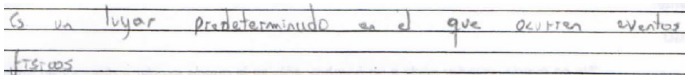
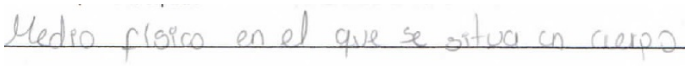
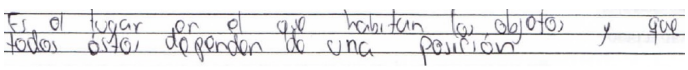
Esta primera sección, se evidencia que la mayoría de los estudiantes tienen indicios del movimiento relativo, aunque no conozcan su concepto y/o definición, por consiguiente permite continuar con la encuesta referente a qué ideas tienen sobre el espacio y tiempo, que se evidenciará a continuación.

4.2.2. Conceptos de espacio y tiempo de los estudiantes

Luego de la percepción del movimiento se plantea tres preguntas a los estudiantes respecto a la comprensión e interpretación que tienen sobre el espacio y el tiempo, esta sección es fundamental para el presente trabajo de investigación, ya que permite evidenciar cómo los estudiantes perciben estos conceptos después de que en varias ocasiones de su vida académica las solucionaron a través de expresiones matemáticas; las preguntas y sus respuestas de algunos estudiantes fueron las siguientes:

- ¿Qué es el espacio?

Respuesta de los estudiantes	Transcripción de las respuesta
	E1: Es un lugar donde se encuentran los objetos.
	E2: Lugar donde se encuentran los objetos y todos los objetos dependen de una posición.
	E3: Es todo aquello que nos rodea, es decir toda la materia que existe
	E4: Lugar con limites ya determinados con factores comunes y abarcadores de este.
	E5: Es un medio físico donde se concentran todos los cuerpos.
	E6: Un ambiente determinado por el tiempo
	E7: Es la realidad donde suceden ciertos acontecimientos con respecto al tiempo.

Respuesta de los estudiantes	Transcripción de las respuesta
	E8: Es un lugar predeterminado en el que ocurren eventos físicos.
	E9: Medio físico en el que se sitúa un cuerpo.
	E10: Es el lugar en el que habitan los objetos y que todos estos dependen de una posición

Cuadro 4.2: Respuestas de un grupo de estudiantes, sobre **¿Qué es el espacio?**

Se observa en el **Cuadro 4.2** algunas respuestas de los estudiantes referente a su interpretación sobre qué es el espacio, como se observa relacionan el espacio con la materia, a diferencia de Newton quien establecía que el espacio no tiene relación a cualquier cosa externa lo consideran homogéneo al igual que Newton, pero al relacionarlo con la materia se puede establecer que indirectamente tienen ideas similares a las planteadas por Leibniz que, aunque él aclaraba que el espacio y la materia no era lo mismo, no se podría concebir el espacio si no hubiese materia; los estudiantes en su vida cotidiana o académica no conocen a Leibniz ni sus teorías, aun así interpretan el espacio de una manera similar a él.

El siguiente gráfico muestra de una manera estadistica la totalidad de los estudiantes encuestados.

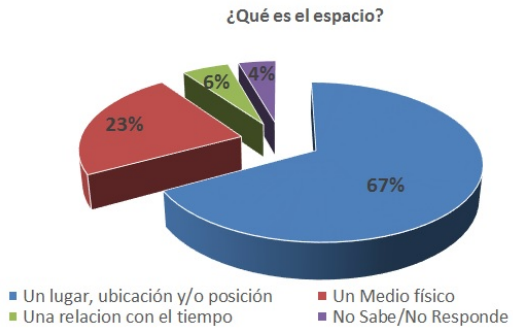
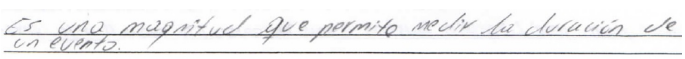
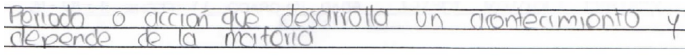
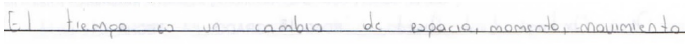
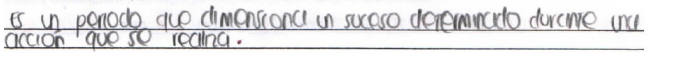
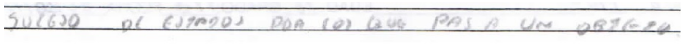
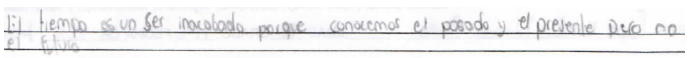
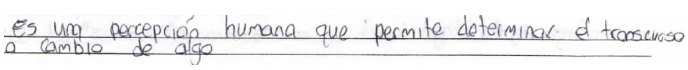
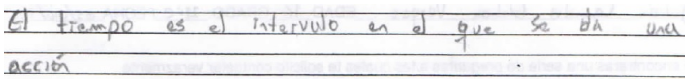
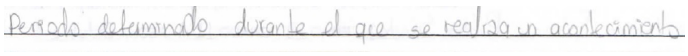
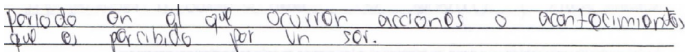


Gráfico 4.5: *Repuestas de los estudiantes ¿Qué es el espacio?*

Análisis Gráfico 4.5 Como se observa en el grafico la mayoría de los estudiantes relacionan el espacio como un lugar, una ubicación o posición que ocupa un cuerpo aquellos estudiantes que mencionan que el espacio es un medio físico lo argumentan, que es un medio donde suceden los fenómenos y donde se encuentran los cuerpos y movimientos, desde la interpretación dada por los estudiantes acerca de esta pregunta, se puede inferir que ellos tienen la idea de absolutismo del espacio, aunque ellos no sean conscientes de este término o lo que conlleva esta interpretación para las ciencias.

- ¿Qué es el tiempo?

Respuesta de los estudiantes	Transcripción de la respuesta
	E1: Es una magnitud que permite medir la duración de un evento.
	E2: Periodo o acción que desarrolla un acontecimiento y depende de la materia
	E3: El tiempo es un cambio de espacio, momento y movimiento.
	E4: Es un periodo que dimensiona un suceso determinado durante una acción que se realiza.
	E5: Suceso de estados por los que pasa un objeto.
	E6: El tiempo es un ser inacabado porque conocemos el pasado y el presente, pero no el futuro.
	E7: Es una percepción humana que permite determinar el trascurso o cambio de algo.
	E8: El tiempo es el intervalo en el que se da una acción.
	E9: Periodo determinado durante el que se realiza un acontecimiento.

Respuesta de los estudiantes	Transcripción de la respuesta
	E10: Periodo en el que ocurren acciones o acontecimientos que es percibido por un ser

Cuadro 4.3: Respuestas de un grupo de estudiantes, sobre **¿Qué es el tiempo?**

En el **Cuadro 4.3**, se evidencia las interpretaciones sobre el tiempo por parte de los estudiantes, se observa que relacionan el tiempo como una duración de un evento, analizando estas respuestas desde una percepción Newtoniana, los estudiantes serian el vulgo ya que consideran el tiempo como el día, el mes, el año, se muestra que para los estudiantes también el tiempo es absoluto y todos observan la misma duración sin importar donde se encuentren.

El siguiente grafico muestra de una manera estadistica la totalidad de los estudiantes encuestados.

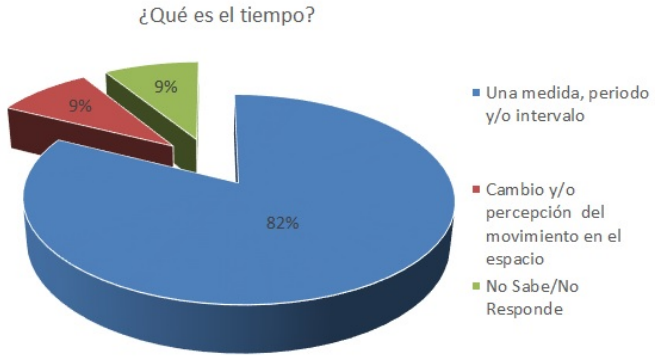
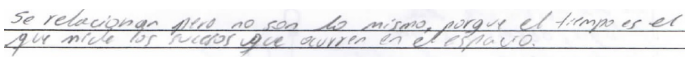
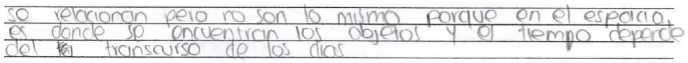
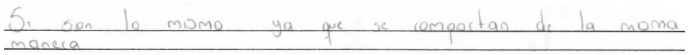
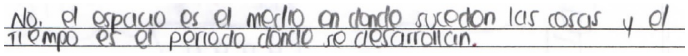
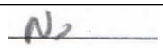
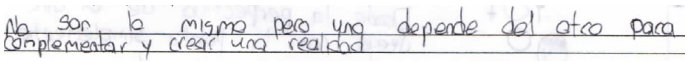
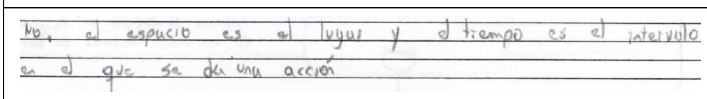
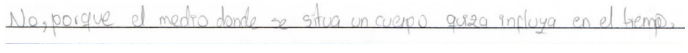
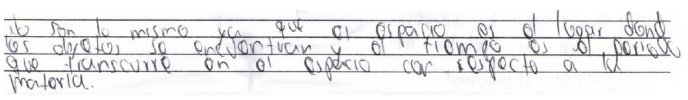


Gráfico 4.6: *Repuestas de los estudiantes ¿Qué es el tiempo?*

Análisis Gráfico 4.6 En este grafico se evidencia la interpretación del tiempo por parte de los estudiantes, el 82 % lo conciben como una simple medida de un suceso, un 9 % lo relacionan con el movimiento de un cuerpo en el espacio, dando indicios que tanto el tiempo como el espacio se relacionan y no son dos entes separados, aunque no realizaron una argumentación apropiada de su respuesta.

- ¿El espacio y el tiempo son lo mismo?

Respuesta de los estudiantes	Transcripción de la respuesta
	E1: Se relacionan, pero no son lo mismo, porque el tiempo es el que mide los sucesos que ocurren en el espacio.
	E2: Se relacionan, pero no son lo mismo por qué en el espacio es donde se encuentran los objetos y el tiempo depende del transcurso de los días.
	E3: Si son lo mismo ya que se comportan de la misma manera.
	E4: No, el espacio es el medio en donde suceden las cosas y el tiempo es el periodo donde se desarrollan.
	E5: No
	E6: No.
	E7: No son lo mismo, pero depende del otro para complementar y crear una realidad.
	E8: No, el espacio es el lugar y el tiempo es el intervalo en el que se da una acción.
	E9: No, porque el medio donde se sitúa un cuerpo quizá influya en el tiempo.
	E10: No son lo mismo ya que el espacio es el lugar donde los objetos se encuentran y el tiempo es el periodo que transcurre en el espacio con respecto a la materia.

Cuadro 4.4: Respuestas de un grupo de estudiantes, sobre **¿El espacio y el tiempo son lo mismo?**

Gráfico 4.7: *Repuestas de los estudiantes ¿El espacio y el tiempo son lo mismo?*

Análisis Gráfico 4.7 Este gráfico revela que más de la mitad infieren que no son lo mismo, puesto que el espacio es una ubicación y el tiempo es una duración esta pregunta va con la intención si pueden relacionar el espacio-tiempo como un solo concepto, el 9 % de los estudiantes encuestados dicen que SI, ya que se encuentran conectados para hablar de los fenómenos, el 12 % de los estudiantes aunque dicen que NO son lo mismo, pero infieren que tienen una relación, que se complementan uno al otro.

4.2.3. Conclusión de la Primera Indagación

En las anteriores ilustraciones, cuadros y graficas se evidencia las respuestas de los estudiantes respecto a las preguntas planteadas, muestran que sus concepciones de espacio y tiempo no van más allá de lo que perciben a diario, de su cotidianidad, no la relacionan con los fenómenos físicos y tampoco con las concepciones newtonianas, en las que han trabajado durante su vida académica, aunque durante la aplicación de estas preguntas los estudiantes se mostraron motivados, ya que manifestaban que nunca se habían cuestionado este tipo de conceptos, sino que lo percibían como de una manera intuitiva, que se presentaba y no tenía más indagación.

Este tipo de preguntas permite evidenciar cómo la enseñanza de la física tienen falencias, y estas se derivan a los docentes ya que solo por cumplir un currículo y el plan de estudios de la institución, el docente no profundiza en la agudeza de los conceptos que ayudan al entendimiento de la física y sus teorías, como la mecánica clásica y la relatividad, donde solo se fundamenta y se trabaja en la solución de las ecuaciones matemáticas.

4.3. Segunda Indagación

4.3.1. Identificando lo absoluto y lo relativo.

Luego de evidenciar los conceptos de los estudiantes acerca del espacio y el tiempo, se plantea esta segunda indagación. Durante los actos educativos y/o clases se mostró el principio de relatividad de Galileo, a través de sus conceptos y transformaciones de sistema de referencia, para así plantearles a los estudiantes y conocer la comprensión que tienen referentes a los conceptos de absoluto y relativo, se realizaron una serie de preguntas (ver anexo 2).

A continuación, en el cuadro 4.5 se evidencia las respuestas de estudiantes a lo que significa el termino absoluto y relativo.

¿Qué significa el término absoluto?	**¿Qué significa el término relativo?**
E1: Igual para todos en todas codiciones	*E1: Algo que depende de la perspectiva de quien está en el hecho.*
E2: Un término que es fijo sin comprobación	*E2: Un término aleatorio que no tiene fin*
E3: Algo completo, general o que incluye todo.	*E3: Algo incompleto o que depende de cierta relación.*
E4: Qué lo es todo	*E4: Depende o varía según el punto de vista*
E5: Es un todo (completo)	*E5: Es sinónimo de aproximación*
E6: *Es una totalidad.*	*E6: Depende de las situaciones genera un cambio*
E7: Algo irrefutable, no cuestionable, algo totalmente soportado	*E7: Que es variable o que cambia respecto a algo.*
E8: Significa algo definido y que no puede cambiar	*E8: Cambiante, no es seguro y cambia según la percepción*
E9: Completo	*E9: Calificativo - opcional*
E10: *El término absoluto significa que existe por sí mismo, es independiente.*	*E10: El término relativo es que es dependiente, necesita de otra.*

¿Qué significa el término absoluto?	¿Qué significa el término relativo?
E11: Es el punto límite de algo, de un carácter físico.	*E11: Hace mención de aquello que mantiene un vínculo con algo o alguien.*
E12: Algo que no cambia	*E12: Es la manera de ver algo que cambia*
E13: Algo lleno casi infinito	*E13: Algo que no es totalmente cierto, pero depende de algo.*
E14: El término absoluto es lo real, lo que está establecido	*E14: El término relativo, cambia según el espacio, el tiempo, el momento, la situación, etc.*
E15: Total, que se refiere a algo completo.	*E15: Condicional, es decir por partes.*

Cuadro 4.5: Respuestas estudiantes,**¿Qué significa absoluto y relativo?**

Análisis Cuadro 4.5 Se puede evidenciar que los estudiantes comprenden que lo absoluto es un concepto, el cual se abarca es un todo, no existe un cambio, es completo e independiente al igual que lo interpreta Newton, de igual manera cuando muestran su interpretación a lo relativo, lo identifican como una condición, que depende de algo, variable y dependiente.

4.3.2. ¿El espacio-tiempo es absoluto o relativo?

Al identificar que los estudiantes comprenden la diferencia de los términos de absoluto y relativo, se plantea las preguntas si el espacio y el tiempo son absolutos y/o relativos, antes de conocer sus respuestas se mostró durante el acto educativo un video-documental acerca de la velocidad de la luz, las respuestas de los estudiantes se muestran en el siguiente cuadro.

¿El espacio es absoluto o relativo?	¿El tiempo es absoluto o relativo?
E1: Relativo ya que depende de quién y de donde se observe o perciba	*E1: Absoluto ya que es el mismo para todos*
E2: Es relativo porque no tiene limite	*E2: Absoluto*

¿El espacio es absoluto o relativo?	**¿El tiempo es absoluto o relativo?**
E3: Absoluto, por que abarca todo lo existente en el espacio que nos rodea.	*E3: Absoluto porque no depende de nada para ser, sin embargo, también puede ser relativo porque puede depender de algo para ser.*
E4: Absoluto porque es donde se encuentra todo lo que existe	*E4: Absoluto*
E5: Espacio absoluto es uno en específico y relativo pueden ser varios	*E5: Es absoluto ya que no pueden ser 2 horas al tiempo.*
E6: *E6: Relativo*	*E6: Relativo por que 1 minuto tiene muchos milisegundos para una persona lo que sería mucho, pero para otra persona 1 minuto no puede ser nada.*
E7: Es relativo debido a que hay distintas percepciones de ello, se puede decir que no hay una total certeza en lo que pensamos respecto al concepto de espacio	*E7: Relativo pues no "existe" un balance de las percepciones que tenemos sobre el tiempo.*
E8: Es relativo, puede cambiar por la intervención humana.	*E8: Absoluto porque el tiempo no cambia, lo que cambia es la percepción de la persona.*
E9: Absoluto no tiene una terminación	*E9: Relativo ya que varia*
E10: El espacio es relativo ya que tuvo que depender de muchas cosas para existir	*E10: El tiempo es absoluto ya que es independiente, solo se depende de el.*
E11: Es relativo porque es una dimensión o medida movible del espacio absoluto.	*E11: Es relativo ya que se ven cosas que creemos en nuestro tiempo, pero ocurrieron hace muchos años*
E12: Absoluto ya que siempre va ser igual	*E12: Relativo porque está en constante cambio*
E13: Es relativo porque si le llamamos absoluto estaríamos seguros de lo que hablamos.	*E13: Es absoluto sabiendo que el tiempo lo tenemos totalmente contabilizado.*

¿El espacio es absoluto o relativo?	¿El tiempo es absoluto o relativo?
E14: El espacio es relativo.	*E14: El tiempo es relativo.*
E15: Absoluto, ya que se encuentra en su totalidad	*E15: Relativo, ya que va corriendo y se va acabando*

Cuadro 4.6: Respuestas estudiantes,**El espacio-tiempo es absoluto o relativo?**

Análisis Cuadro 4.6 Luego de ver un video-documental acerca de la velocidad de la Luz, se les plantea a los estudiantes si el espacio y el tiempo es absoluto o relativo en sus respuestas se evidencia que la interpretación del espacio si es absoluto o relativo están divididas aproximadamente en un 50 %. En el cuadro 4.5 se comprende que los estudiantes tienen claridad referente termino de absoluto y relativo, por lo tanto, ellos argumentan sus respuestas, pero ninguna de ellas hace referencia a las temáticas vistas durante su vida académica. Referente a sí el tiempo es absoluto o relativo ocurre lo mismo se dividen por igual las opiniones de los estudiantes, no infieren si la velocidad del objeto influye en algo para sus respuestas.

4.3.3. Conclusión de la Segunda Indagación

Se evidenció cómo los estudiantes interpretan los conceptos de espacio y tiempo relativo, pero aún sus respuestas las abarcan desde su cotidianidad, no las relacionan con las temáticas que han visto en la catedra de física a los estudiantes también se les pregunto si identificaban a que hacía referencia las ideas de Newton acerca del espacio y tiempo absoluto, donde un 68 % de los estudiantes respondían que NO, un 17 % decían que SÍ, pero no aclaraban, ni argumentaban cuales eran y 15 % no respondía.

Estas respuestas por parte de los estudiantes muestran que el espacio y el tiempo son conceptos fundamentales en la cotidianidad, pero no abstraen la importancia de ellos para las ciencias, aún después de enunciarles los límites y consecuencias de la velocidad de la luz, ellos desconocen el porqué del cambio conceptual de estos términos en la historia de las ciencias, a partir de esto, se puede aportar elementos a la enseñanza de las ciencias como se evidenciará en el siguiente capítulo.

Capítulo 5

Aportes para la enseñanza de la física

A través de la investigación presentada en los capítulos anteriores, se evidencia la interpretación y conceptualización de las ideas del espacio y tiempo entre Newton y Einstein, así mismo las de estudiantes que se encuentran en educación media vocacional exponiendo como los estudios de corte histórico permiten realizar análisis en la construcción de conocimientos y explicación de conceptos que rigen las teorías físicas.

Esto permite al docente revaluar y reflexionar frente a los procesos de enseñanza-aprendizaje que utiliza al momento de introducir en sus actos educativo las diferentes teorías físicas, especialmente la Teoría especial de la relatividad, dando cuenta que la enseñanza de ésta, va más allá de las formulaciones matemáticas que la rigen, mostrando que la conceptualización del espacio y tiempo fue de gran relevancia para la organización de las teorías de Newton y Einstein.

Ellos revolucionaron y cambiaron la imagen de ciencia y de ver nuestro entorno, se aventuraron en el pensamiento y establecieron cambios en la ciencia, como lo hizo Einstein al dar explicaciones a fenómenos que la mecánica newtoniana no lograba aclarar. Esta aventura del pensamiento y cambio de paradigmas permite generar ilustraciones en el aula respecto a los aportes científicos que han existido a lo largo de la historia, puesto que si el docente sólo se limita a introducir un concepto y no interpretarlo apaga el espíritu científico que los estudiantes pueden llegar a tener.

Otro punto es que la construcción conceptualmente de una idea implica una serie de aciertos y errores para caracterizarla, desarrollarla y definirla, por lo tanto realizar un recorrido de corte histórico entre los conceptos trabajados por Newton y Einstein en la interpretación del espacio y

el tiempo, permite conocer los problemas de conocimiento que ellos contrajeron para así formular sus teorías y dar explicación a los fenómenos trabajados, así mismo se plantea la historicidad de las ciencias como una fuente de conocimiento para el docente y para su labor diaria en la enseñanza.

Esta experiencia de someter la historicidad de las ciencias como una fuente de conocimiento, exige procesos de recontextualización de saberes en el aula, en la enseñanza de la física y en especial de la física moderna[1], ya que permite transformar la enseñanza tradicional, donde las enseñanzas quedan plasmadas en los planes de estudio de una manera no muy estructurada, donde no se evidencia la crisis que vivió en la física clásica, para concebir unas teorías modernas (Perez & Solbes, 2003). La enseñanza-aprendizaje de la física debe partir de la construcción y comprensión de los conceptos que esta abarca, es claro que no podemos traer siglos de estudio a solo una o dos horas de catedra de física, pero el docente sí puede crear el espacio, la didáctica, la pedagogía para su correcta enseñanza, como se muestra en el capítulo de la metodología del presente documento evidenciando como la historicidad de las ciencias y la recontextualización de saberes permite crear herramientas para la construcción de enseñanza-aprendizaje, reconstruyendo las problemáticas de las teorías.

De esta manera se posibilita involucrar al docente y estudiante a establecer, alcanzar y comprender la construcción del conocimiento científico, dejando de un lado las verdades absolutas que algunos textos y docentes pretenden impartir, por lo tanto, lograr identificar cuales fueron cuestionamientos problemáticos que llevaron las teorías para su formulación, permite un aprendizaje coherente tanto al estudiante como al docente, más allá de la didáctica de las ciencias[2] o de los enfoques de aprendizaje de las ciencias (Pozo & Gómez, 1998), es necesario reconstruir las problemáticas de las ciencias y los modos de actuar, ya que accede y fomenta el espíritu científico en el aula (Orozco, 1996).

En este sentido la historicidad de las ciencias permite reconstruir problemáticas que estuvieron a la base de las teorías científicas, llegando así a su comprensión, claro está que no se debe limitar la enseñanza de las ciencias a solo su historia, Sánchez ron (1987) sugiere: “no olvidar de formar profesionales con un conocimiento adecuado del estado actual de sus disciplinas. Hay que fomentar la creatividad, la originalidad, la duda metódica pero nunca a costa de la propia disciplina”, por lo

[1]Interpretamos la física moderna a partir de los estudios realizados sobre la relatividad y mecánica cuántica que inicia a principio del siglo XX.

[2]La didáctica de las ciencias sigue jugando un papel importante en la enseñanza, pero no puede establecerse como la única forma para la comprensión de la misma.

tanto, se puede ligar la historia de las ciencias con todo contenido disciplinar para la construcción del conocimiento.

La historia de la ciencia enriquece la formación de los docentes que se dedican a la enseñanza de la ciencia, permitiendo mostrar una imagen de ciencia en el aula de una manera pedagógicamente accesible (Ayala, 2006), así mismo la recontextualización de saberes aporta elementos en la construcción del concepto del espacio-tiempo, conocer las ideas principales del absolutismo y relativismo permite la comprensión de la Teoría especial de la relatividad.

Teniendo en cuenta lo anterior y considerando la propuesta metodológica del presente documento, se puede llevar a cabo la enseñanza de las ciencias de una forma eficaz, y coherente al aula, donde se revalúa los conocimientos adquiridos por el docente en su formación profesional y así poder llevar a cabo el siguiente esquema tanto para la enseñanza de las ciencias como para el aprendizaje mismá.

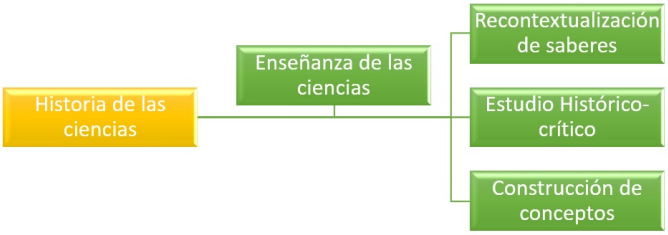


Figura 5.1: *Esquema para la enseñanza de las ciencias*

Por lo tanto y siguiendo con los parámetros y características antes mencionadas, la enseñanza de la Teoría especial de la relatividad debe partir con la comprensión del espacio-tiempo absoluto de la mecánica clásica y con la ilustración de la problemática de la electrodinámica de los cuerpos en movimiento, teoría que infundó la necesidad de transformar los conceptos de espacio y tiempo que se abarcaban antes del siglo XX. La formulación de la Teoría especial de la relatividad propuesta por Einstein se dio hace un poco más de un siglo y aún en la segunda década del siglo XXI sigue teniendo importancia en el ámbito de la física y sobre todo en su enseñanza, aunque en las aulas sólo se ilustre las consecuencias que esta género, es decir, se enseña las ecuaciones de la dilatación temporal, la contracción de la longitud, los sistemas de referencia y respecto a que se están tomando las medidas, pero esta enseñanza se limita sólo a esta parte, no muestra el verdadero valor y significado que la relatividad tuvo, no solo en el mundo científico, sino también en la vida cotidiana del hombre común.

La enseñanza de la relatividad si se conquista desde una perspectiva conceptual toma un valor significativo en la construcción del conocimiento y en la comprensión de la misma, este trabajo investigativo en la interpretación dada por las ideas de espacio-tiempo de Newton y Einstein generan modos de hablar sobre la teoría, fomentando la posibilidad de utilizar el mismo método para las diferentes teorías que encierran la física.

Acerca de los conceptos de espacio y tiempo, estos han sido abarcados por filósofos, pedagogos y científicos, como se evidencia en el planteamiento del problema del presente documento, también es cierto que en todos los contextos cotidianos y académicos son fundamentales las ideas de espacio y tiempo, en la Teoría espacial de la relatividad tiene un mayor significado e importancia, puesto que replantea el significado de estos, cancelando el absolutismo de Newton y haciendo participe en la edificación de la física moderna.

La principal problemática en la enseñanza de la Teoría especial de la relatividad (TER), se enfoca en solo ilustrar las consecuencias de esta y de solucionar sus expresiones matemáticas, Landau & Rummer (1995) en el libro Qué es la teoría de la relatividad muestran una aproximación sobre las consecuencias de esta, sin recurrir a la rectitud matemática que esta contrae, aun así, quedan cortos en la explicación del por qué se dio esta teoría.

Otro aporte para la enseñanza de la Teoría especial de la relatividad es realizar un corte histórico en la comprensión e interpretación que se da al espacio-tiempo newtoniano, así como los participaciones de Leibniz quien se oponía al absolutismo, argumentando que estos conceptos seda por la relación de las consecuencias teniendo un sentido físico, luego brindar aspectos de la teoría de campo, puesto que esta comienza a darle un significado al espacio cuestionando la acción a distancia de Newton. Así mismo lo que encierra la comprensión de la naturaleza de la Luz, ya que darle el carácter de onda electromagnética genera una imagen de ciencia diferente a las existentes y sobre todo a la electrodinámica, puesto que al aplicar el principio de relatividad comienzan las invarianzas de la teoría electromagnética.

Por lo tanto, construir el concepto de espacio-tiempo para la enseñanza de la relatividad en el aula se requiere de una organización y explicación de la historia de las ciencias, donde se requiere etapas de recontextualización de saberes, donde se evidencie las problemáticas que se abordaron en la historia para la adquisición y construcción de las teorías, esto permitirá al docente y al estudiante formularse preguntas y traer problemas de conocimiento al aula, ya que estos son una herramienta

que permite comprender la construcción de conocimiento en las ciencias (Orozco, Valencia, Méndez, Jiménez, & Garzón, 2001).

Por otra parte, la relación entre la enseñanza-aprendizaje de la relatividad y la historicidad de la misma establece para el docente un método para transformar sus fuentes de conocimiento, haciéndolo participe en cuestionamientos propios para la comprensión de los conceptos que abarca la teoría, generando pautas que permitan una enseñanza acorde a los estudiantes que se encuentran en media vocacional, así demostrando que la física va más allá de formulaciones matemáticas.

En síntesis la formalización y construcción de un concepto toma mayor relevancia siempre y cuando se conozca sus orígenes, indagar los conceptos de espacio y tiempo permitirá una compresión más profunda sobre la Teoría especial de la relatividad y así conocer las consecuencias de éstas para realizar las destrezas matemáticas que conlleva esta teoría.

Capítulo 6

Conclusiones

- La presente investigación permite establecer las concepciones e interpretaciones de los conceptos de espacio y tiempo que se encuentran inmersas en la mecánica newtoniana y en la teoría de la relatividad especial, a través de la revisión de corte histórico fundamentando los trabajos de aprendizaje del docente de ciencias y permitiendo generar propuestas de enseñanza en el aula.

- Los aportes y procesos que la historicidad de las ciencias y la recontextualización de saberes contribuyen adquirir elementos de investigación, fomentando la comprensión conceptual y del porqué de las teorías físicas, permitiendo identificar y categorizar los conceptos de espacio y tiempo entre Newton y Einstein.

- La investigación de corte histórico, aborda los textos principales de Newton y Einstein permitiendo plantear esta metodología como una fuente de conocimiento en la construcción de explicaciones frente a los conceptos de espacio y tiempo, aportando elementos hacia la enseñanza de física, especialmente de la Teoría especial de la relatividad.

- Aunque sólo se abordó los conceptos de espacio y tiempo entre Newton y Einstein, este tipo de investigaciones se pueden llevar a cabo en cualquier teoría, puesto que para la formulación de estas es necesario obtener una compresión conceptual que las encierran.

- Conocer las concepciones de espacio-tiempo que tenían Newton y Einstein permite brindar una explicación de la postulación de sus teorías, comprender el absolutismo de Newton y el

Relativismo de Einstein conlleva a una adquisición de conocimiento, enriqueciendo y fortaleciendo al docente en sus destrezas de enseñanza de las ciencias.

- Finalmente, el uso de la historicidad de las ciencias y la recontextualización de saberes son herramientas que marcan la diferencia tanto la comprensión, como en la enseñanza de las ciencias, promoviendo al docente y estudiante profundizar en el conocimiento, potencializando el espíritu científico.

Bibliografía

Alemañ Berenguer, R. (2008). Geometría y Física: De Hertz a Einstein. Lluill, 189-206. Obtenido de https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:9shKH-XU2NUJ:https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2958121.pdf+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co

Ayala. M, M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. Pro-Posições, 17(1 (49)), 19-37. Obtenido de http://www.proposicoes.fe.unicamp.br/proposicoes/textos/49_dossie_ayalammam.pdf

Ayala, M. M. (1992). La enseñanza de la física para la formacion de profesores de física. Brasileira de Ensino de Física, 14(3), 153-157. Recuperado el 20 de Diciembre de 2016, de http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol14a26.pdf

Barinaga-Rementeria, J. M. (2004). La investigación kantiana sobre el espacio y el tiempo. Teorema, XXIII(1-3), 144-155. Recuperado el Noviembre de 2016, de http://sammelpunkt.philo.at:8080/2334/1/Dialnet-LaInvestigacionKantianaSobreElEspacioYElTiempo-1087952.pdf

Berkson, W. (1981). Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein. (L. González Seco, Trad.) Madrid: Alianza Editorial.

Blanco Pérez, C. (2005). Leibniz y la teoría de la relación. Thémata:Revista de filosofía(34), 249-258. Recuperado el 14 de Mayo de 2016, de http://institucional.us.es/revistas/themata/34/15 %20blanco.pdf

Blanco Rivero, J. R. (1995). *Construcción de la noción de espacio físico.* Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia

Bravo, E. N. (1984). Notas sobre el concepto de espacio Absoluto: Newton y Einstein. Elementos, 1(1), 16-30. Recuperado el 16 de Agosto de 2016, de http://www.elementos.buap.mx/num01/pdf/Elem01.pdf

Cardelli, J. (2004). Reflexiones críticas sobre el concepto de transposición didáctica de Chevallard. Cuaderno de Antropologia Social(49), 49-61. Recuperado el 2016, de http://www.unige.ch/fapse/clidi/textos/transposicion.pdf

Cárdenas Castañeda, L., & Botero Flórez, C. D. (Julio- Diciembre de 2009). Leibniz, Mach y Einstein: Tres objeciones al espacio absoluto de Newton. Discusiones Filosóficas, 10(15), 51-68. Recuperado el 25 de Noviembre de 2015, de http://www.scielo.org.co/pdf/difil/v10n15/v10n15a03.pdf

Castillo Ayala, J. C. (2008). La historia de las ciencias y la formación de maestros: la recontextualizacion de saberes como herramienta para la enseñanza de las ciencias. Rollos Nacionlaes, 3(25), 73-80.

Castillo Ayala, J. C. (2012). Reflexiones sobre el tiempo en la física. En M. C. Cifuentes, J. D. Reyes, A. A. Venegas Segura, R. I. Pedreros, & J. C. Castillo Ayala, Perspectivas epistemológicas, culturales y didácticas en educación en ciencias y la formación de profesores: Avances de investigación (págs. 151-182). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Chevallard, Y. (1991). La transposición didáctica Del saber sabio al saber enseñado. Argentina: Aique Grupo Editor S. A.

Consenza, M. (2016). Mecánica Clásica. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes. Recuperado el 20 de Agosto de 2016, de

http://www.ciens.ula.ve/cff/caoticos/PDFs/guiaMecanicaClasica.pdf

Corrales Cordón, F. D. (2013). Espacio, tiempo físico y lugares retóricos en Aristóteles. Ouranós-Gaia. L'espai a Grècia III, 23-30. Obtenido de http://www.academia.edu/7358425/Espacio_tiempo_f%C3%ADsico_y_lugares_ret%C3%B3ricos_en_Arist%C3%B3teles

Einstein, A. (1905). Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento. *Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Annalen der Physik, 891-921.* Recuperado el 01 Agosto de 2015, (ICN-UNAM, Ed., & H. Quevedo, Trad.) https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jcuevas/Teaching/articulo-original.pdf

Einstein, A. (1984). Notas Autobiográficas. Madrid, España: Alianza Editorial.

Elkana, Y. (1983). La ciencia como sistema cultural: una aproximación antropologica. Sociedad Colombiana de Epistemología, 3(10-11), 65-80.

Fonseca, A. C. (2016). *Análisis histórico crítico y la actividad experimental: construyendo el fenómeno de flotación.* Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia

Gallo, O, F. (2012). *La noción de marco de referencia y sistema de referencia para la enseñanza de la relatividad del movimiento en la física clásica.* Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia

García Bacca, J. (1996). Prologo. En H. Reichenbach, Objetivos y métodos del conocimiento físico (págs. 7-11). México D. F.: Fondo de cultura económica.

García Doncel, M. (1989). El tiempo en la física: de Newton a Einstein. Enrahonar, 39-59.

Gianni, K., & Melita, G. (2014). La organización del espacio y sus consecuencias epistemologicas. Recuperado el Enero de 2016, de

http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:NVY9j3HzLNkJ:
www.psicogenetica.com.ar/AJOEW002TWPPOFHHIKPPDJ2345JLPDHUOA/espacio.doc+
&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co

Gimeno Sacristán, J. (1999). La educación que tenemos, la educación que queremos. En F. Imbernón , L. Bartolome, R. Flecha, J. Gimeno Sacristán, H. Giroux, D. Macedo, . . . I. Tortajada, La eduacación en el siglo XXI, los retos del futuro inmediato (págs. 29-51). Barcelona: GRAÓ, de Serveis Pedagógics. Obtenido de http://cursa.ihmc.us/rid=1279035477015_658449089_20060/La%20educacion
%20del%20siglo%20XXI.pdf

Granés Sellarés, J. (2005). Isacc Newton Obra y Contexto una Introducción. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Guarin Castro, E. D. (2013). *La Diversidad conceptual y epistémica de los conceptos de espacio y tiempo.* Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia

Guevara, M. & Tovar, R. (1995). *Hacia la representación del espacio.* Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia

Gutiérrez, M. (2010). Incompatibilidad de la mecánica de Newton con el Electromagnetismo. Málaga: Universidad de Málaga. Recuperado el Septiembre de 2016, de http://agt.cie.uma.es/ mgl/Docencia/Tema1Seccion2.pdf.

Hacyan, S. (2002). Relatividad para principiantes. Mexico D. F: Fondo de Cultura Económica.

Hacyan, S. (2004). Física y Metafísica del espacio y el tiempo: La filosofía en el laboratorio. En S. Hacyan, Física y Metafísica del espacio y el tiempo: La filosofía en el laboratorio (págs. 46-49). México D. F: Fondo de Cultura Económica.

Herrera Agudelo, J. D., & Medina Ochoa, D. A. (2011). *Una propuesta didactica para abordar la evolución de los conceptos de espacio y tiempo en la eduacion media.* Universidad

Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia

Hertz, H. (1899). The Principles of Mechanics. New York: Cosimo Classics.

Husserl, E. (1928). Lecciones de fenomenología de la conciencia interna del tiempo. Madrid: Trotta.

Landau, I. & Rumer, Y. (1995). Qué es la teoría de la relatividad. Bogotà. D. C, Colombia: Panamericana Editorial Ltda.

Laorden Gutiérrez, C., & Pérez López, C. (2002). El espacio como elemento facilitador del aprendizaje. Una experiencia en la formación inicial del profesorado. Pulso, 25, 133-146. Recuperado el 12 de Enero de 2016, de dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/243780.pdf

Lara Zabala, N., & Miranda, A. (Enero-Junio de 2001). Newton, Einstein y la noción de tiempo absoluto. Signos Filosóficos(5), 65-81. Recuperado el 11 de Enero de 2016, de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34300503

Longlois, C., & Seignobos, C. (2003). Introducción a los estudios históricos. (F. C. Sevillano, Ed.) Salamanca: Universidad de Alicante.

Malagón Sánchez, F., Sandoval Osorio, S., & Ayala Manrique, M. (2013). La actividad experimental: construccion de fenomenologías y procesos de formalización . Praxis Filosófia Nueva serie(36), 119-138. Recuperado el 25 de Enero de 2016, de http://praxis.univalle.edu.co/numeros/n36/Articulos/N36-06.pdf

Maravall, D. C. (2007). El espacio y el tiempo en las matemáticas y en la física. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1101(2), 259-283. Recuperado el 19 de DIciembre de 2016, de http://www.rac.es/ficheros/doc/00544.pdf

Martinez, V. J., & Ros, E. (s.f.). El tiempo en la física.

Maudlin, T. (2014). Filosofía de la física I. México D. F., México: Fondo de Cultura Económica.

Monje, C. Á. (2011). Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa Guía Didáctica. Neiva: Universidad surcolombiana.

Newton, I. (2013). Principios Matemáticos de Filosofía Natural. (E. Rada García, Trad.) Madrid, España: Alianza Editorial.

Nicol, E. (1955). Los conceptos de espacio y tiempo en la filosofía griega. Diánoia, 1(1), 137-180. Recuperado el Octubre de 2016, de http://dianoia.filosoficas.unam.mx/files/7413/7021/0922/DIA55_Nicol.pdf

Niño, V. (2001). El tiempo en la mecánica de nweton, la relatividad especial y la mencánica cuántica. Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia(4-5), 24-34. Recuperado el 11 de Enero de 2016, de http://www.redalyc.org/pdf/414/41400503.pdf

Orozco Cruz, J. C. (1996). La dimensión histórico-filosófica y la enseñanza de las ciencias. Física y Cultura: Cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias(2), 97-110

Orozco Cruz, J. C. (2005). Atajos y desviaciones. Los estudios histórico-críticos y la enseñanza de las ciencias. Tecne, Episteme y Didaxis, 70-79

Orozco, J. C., Valencia, S. V., Méndez, O. N., Jiménez, G. G., & Garzón, J. O. (2001). Los problemas de conocimiento una perspectiva compleja para la enseñanza de las ciencias. Universidad Pedagógica Nacional. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de http://www.pedagogica.edu.co/storage/ted/articulos/ted14_11arti.pdf

Ortiz Ibáñez, E. R. (2013). *El juguete de Einstein: Una experiencia que permite evidenciar el principio de equivalencia en el aula.* Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia

Otero , L. C. (1988). Einstein y la Teoría de la relatividad. La abolición del es-

pacio y el tiempo absolutos. Umbral. Recuperado el 18 de Octubre de 2016, de http://www.academia.edu/1182152/Einstein_y_la_Teor%C3%ADa_Especial_de_la_Relatividad._La_Abolici%C3%B3n_del_Espacio_y_el_Tiempo_Absolutos

Pacheco Codina, A. M. (1999). Conceptos de espacio y tiempo en la física. Tecné, episteme y didaxis, 6, 46-54. Obtenido de http://www.pedagogica.edu.co/storage/ted/articulos/ted06_08arti.pdf

Perez, H., & Solbes, J. (2003). Algunos problemas en la enseñanza de la relatividad. Investigación Didáctica, 1(21), 135-146.

Pastor González, J. (s.f.). El espacio tiempo de Albert Einstein. (U. d. Murcia, Ed.) Recuperado el 25 de Noviembre de 2015, de http://ocw.um.es/ciencias/geometria-diferencial-avanzada/otros-recursos-1/guia-relato.pdf

Piaget, J. (1978). El desarrollo de la noción de tiempo en el niño. (V. M. Suárez, & J. J. Utrilla, Trads.) Mexico D. F.: Fondo de Cultua Económica.

Pozo, J. M., & Gómez, M. C. (1998). Enfoque para la enseñanza de la ciencia. En J. I. Pozo, & M. A. Gómez, Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico (págs. 265-309). Madrid: Morata.

Rada García, E. (2013). Introducción. En I. Newton, Principio Matemáticos de la Filosofía Natural (págs. 9-76). Madrid, España: Alianza Editorial

Rada García, E. (1980). La polémica Leibniz-Clarke. (E. Rada, Ed.) Madrid: Taurus Ediciones S. A.

Rael Fuster, M. I. (Febrero de 2009). Espacio y tiempo en educación infantil. Innovación y Experiencias educativas. Recuperado el 12 de Enero de 2016, de http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod_ense/revista/pdf/Numero_15/ISABEL_RAEL_1.pdf

Rodríguez, L. D., & Ayala, M. M. (1996). La historia de las ciencias y la enseñanza de las ciencias. Física y Cultura: Cuadernos sobre historía y enseñanza de las ciencias(2), 75-93.

Sampieri, R. C. (2012). Éter, materia y movimiento en la filosofía natural de René Descartes. Stoa, 3(6), 119-137. Recuperado el 30 de Diciembre de 2016, de http://revistas.uv.mx/index.php/Stoa/article/download/448/pdf_54

Sánchez O, E. A. (1982). *Hacia un análisis de la teoría especial de la relatividad.* Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia

Sánchez, Ron, J. M. (1983). El origen y desarrollo de la relatividad. Madrid: Alianza Editorial, S. A

Sánchez Ron, J. (1987). Usos y abusos de la historia de la física en la enseñanza. Historia de las ciencias y enseñanza, 6(2), 179-188.

Sánchez, Ron, J. M. (2000). Albert Einstein. Las matemáticas del siglo XX. Una mirada en 101 Artículos(21), 109-114. Recuperado el Septiembre de 2016, de http://www.sinewton.org/numeros/numeros/43-44/Articulo21.pdf

Sebastiá, J. (2013). Las leyes de Newton de la mecánica: Una revisión histórica y sus implicaciones en los textos de enseñanza. Didáctica de las Ciencias experimentales y sociales(27), 199-217. Recuperado el Septiembre de 2016, de https://ojs.uv.es/index.php/dces/article/viewFile/2241/3323

Sommerfeld, A. (1952). Theory fo Relativity and Electron Theory. En A. Sommerfeld, Electrodynamics: Lectures on Theoretical Physics, Vol III (E. Ramberg, Trad., págs. 212-279). New York: Academic Press Inc, Publishers.

van Fraassen, B. C. (1978). Los problemas de la teoría del tiempo de Aristóteles a Kant. En B. C. van Fraassen, Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio (págs. 21-27). Barcelona: Labor S. A.

Vargas Durango, M. A. (2009). *Caracterización del Espacio-Tiempo de Minkowski*. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia

Anexos

ANEXO 1

PERCEPCIÓN DEL MOVIMIENTO

Estimado estudiante:

GIMNASIO EL LAGO

"No se puede enseñar nada a un hombre; sólo se le puede ayudar a descubrirlo en su interior"

Galileo Galilei (1564-1642) Astrónomo, ingeniero, matemático y físico italiano

NOMBRE:_____EDAD_____GRADO:_____FECHA_____

A continuación, encontraras una serie de preguntas a las cuales te solicito contestar verazmente.

1. Imagínate dos personas, una de ellas se encuentra en un barco en movimiento con una velocidad constante y la otra lo observa desde la orilla de la playa, la persona del barco juega con una pelota que lanza hacia arriba, no tengas en cuenta la fricción del aire.

   a. Describe y dibuja la trayectoria que creerías que vería la persona del barco cuando lanza la pelota hacia arriba, recuerda que el barco se mueve con velocidad constante

   b. Describe y dibuja la trayectoria que creerías que vería la persona que se encuentra en la orilla de la playa, cuando la del barco lanza la pelota hacia arriba, recuerda que el barco se mueve con velocidad constante

2. Una persona se encuentra en el interior de un barco sin ventanas, el barco se mueve a velocidad constante, *(considere que el mar está en calma y no chocan las olas contra el barco, como si fuera una superficie lisa)*, la persona que está dentro del barco no sabe que este se encuentra en movimiento y no puede ver lo que sucede fuera de este. ¿Cómo haría para saber si se encuentra en movimiento o está en reposo el barco?

_____
_____
_____
_____

ANEXO 1

3. Con base a las dos situaciones planteadas, puedes responder:
   a. Qué es el movimiento

_____
_____
_____
_____

   b. Qué es el espacio

_____
_____
_____
_____

   c. Qué es el tiempo

_____
_____
_____
_____

   d. Cómo es posible percibir el movimiento.

_____
_____
_____
_____

   e. Cómo es posible percibir el tiempo

_____
_____
_____
_____

   f. El espacio y el movimiento son lo mismo

_____
_____
_____
_____

   a. El espacio y el tiempo son lo mismo

_____
_____
_____
_____

ANEXO 2

IDENTIFICANDO LO ABSOLUTO Y RELATIVO

A continuación, encontraras una serie de preguntas a las cuales te solicito contestar verazmente

¿Qué significa el termino absoluto?

_____
_____
_____

¿Qué significa el termino relativo?

_____
_____
_____

¿El espacio es absoluto o relativo? Justifica tu respuesta

_____
_____
_____

¿El tiempo es absoluto o relativo? Justifica tu respuesta

_____
_____
_____

¿Identificas a que hacen referencia las ideas de Isaac Newton acerca del espacio y tiempo absoluto?

_____
_____

¿El espacio y el tiempo es un solo concepto o son dos conceptos diferentes? ¿Por qué?

_____
_____
_____