

APROXIMACIÓN A LA TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD A PARTIR DE
LAS NOCIONES DE ESPACIO Y TIEMPO A ESTUDIANTES DE GRADO UNDÉCIMO

MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ CONTRERAS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

2021

APROXIMACIÓN A LA TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD A PARTIR DE
LAS NOCIONES DE ESPACIO Y TIEMPO A ESTUDIANTES DE GRADO UNDÉCIMO

MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ CONTRERAS

Trabajo de grado presentado para optar por el título de Licenciado en Física

Asesores:

Profesora Diana Carolina Castro

Profesor German Bautista Romero

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

2021

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	4
Capítulo I. Sobre el Problema de la Investigación.....	5
1.1. Descripción del Problema	5
1.1. Objetivos	8
1.1.1. Objetivo General	8
1.1.2. Objetivos Específicos	8
1.2. Justificación	9
1.3. Antecedentes	11
1.3.1. Antecedentes locales	11
1.3.2. Antecedentes nacionales.....	12
1.3.3. Antecedentes internacionales	13
Capítulo II. Marco teórico.....	14
2.1. Marco Disciplinar	14
2.1.1. Los Conceptos de Espacio y Tiempo en la Filosofía Griega.....	14
2.1.2. Aristóteles y su concepción acerca de lo espacial y lo temporal.....	18
2.1.2.1. Sobre el Espacio.....	18
2.1.2.2. Sobre el Tiempo	20
2.1.3. Sobre el Espacio y el Tiempo en la Mecánica de Newton.	21
2.1.3.1. Acerca del tiempo en el pensamiento de Newton.	23
2.1.4. El Principio de la Relatividad Galileana.	25
2.1.5. La Relatividad Especial.	27
2.1.5.1. Situación problemática a finales del siglo XIX	27
2.1.5.2. Sobre la Simultaneidad la Nueva Interpretación del Espacio y el Tiempo... ..	29
2.1.6. Conclusiones.....	32
2.1.6.1. Cuadro Comparativo entre la perspectiva newtoniana y einsteiniana acerca del Espacio y el Tiempo	32
Capítulo III. Metodología	33
3.1. Tipo de investigación	33
3.2. Descripción de la comunidad de jóvenes	34
3.3. Descripción de la estrategia didáctica.	34
3.3.1. Momento 1: Un viaje a través del espacio y el tiempo	35
3.3.1. Momento 2: Esto se ha pensado del espacio y del tiempo, pero ¿qué pienso yo?.....	36
3.3.2. Momento 3: Algo en el tiempo me parecía sospechoso... La relatividad especial.....	37
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados	39
4.1. Momento 1. Un encuentro con mi experiencia... El movimiento.	39
4.2. Momento 2. Esto se ha pensado el espacio y del tiempo pero...¿Qué pienso yo?	43
4.3. Momento 3. Algo me parecía sospechoso en el tiempo...La relatividad especial.	46
Conclusiones	53
Bibliografía	55
Anexos	57

Introducción

Este documento tiene la intención de mostrar al lector los momentos de un ejercicio de investigación orientado a introducir elementos de la física moderna, en este caso, la relatividad especial a estudiantes de grado undécimo de la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori, esto, a partir de la implementación de una estrategia didáctica. Dicho esto, esta monografía consta de cuatro capítulos, los cuales, se desarrollaron de la siguiente manera:

En el Capítulo I se encuentra el problema de la investigación, allí podrá identificar las razones que motivan a realizar esta monografía, asimismo, el objetivo general y los objetivos específicos, los cuales movilizan esta investigación, la justificación, y por último, los trabajos que anteceden este ejercicio, los cuales son de orden local, nacional e internacional.

En el Capítulo II se presenta el marco teórico, donde se desarrolla una aproximación teórica a los conceptos de espacio y tiempo, tomando como referente, en un primero momento, el pensamiento griego, luego, se transita hasta el siglo XVII en donde se formalizan estos dos conceptos gracias a los trabajos de Galileo Galilei e Isaac Newton, y por último, se toma como referente el trabajo de Einstein de 1905 «Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento» para desarrollar los aspectos relacionados con el surgimiento de la teoría especial de la relatividad.

En el Capítulo III se presentan los aspectos metodológicos que guiaron la construcción de esta investigación, la descripción de la población objeto de estudio, y la descripción de la estrategia didáctica, la cual se desarrolló en tres momentos, diseñada para abordar nociones referidas a la TER.

En el Capítulo IV se presentan los análisis de los resultados obtenidos al implementar la estrategia didáctica, el principal dato son las respuestas que dan los estudiantes de manera oral y escrita a las preguntas y situaciones planteadas para aproximarlos a las nociones de espacio y tiempo desde una visión relativista.

Por último, se presentan las conclusiones y reflexiones en torno al ejercicio de investigación destacando aspectos metodológicos, disciplinares, pedagógicos que surgen de la experiencia del maestro de formación y que surgen de la implementación de la estrategia didáctica en un contexto de la educación media de la ciudad de Bogotá.

Capítulo I. Sobre el Problema de la Investigación

1.1. Descripción del Problema

A partir de un ejercicio de observación participativa realizado en las instalaciones de la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori ENSDMM¹, con los estudiantes del ciclo profesional de grados noveno y undécimo; se registraron las diferentes estrategias, dinámicas, normativas y reflexiones de la escuela a través del diario de campo; de manera simultánea se realizó una lectura detallada a los Derechos Básicos de Aprendizaje MEN (2016) para identificar las temáticas que se abordan en el eje entorno físico en estos grados, lo cual permitió evidenciar que no plantean la necesidad de abordar temas referidos a la física moderna, como lo son las nociones básicas sobre la teoría especial de la relatividad TER².

Para complementar las lecturas de las dinámicas escolares, se recogieron algunas narrativas de profesores que orientan la asignatura *Física*, tanto de la ENSDMM como de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, con el propósito de indagar sobre su percepción acerca de la pertinencia de abordar estos temas en niveles de la educación media, existen docentes que consideran que los estudiantes pueden aprender lo que se propongan siempre y cuando se tenga el acompañamiento y se empleen las estrategias adecuadas, otras perspectivas se enfocan en indicar que para el abordaje de estas temáticas se requiere determinados grados de abstracción que en ocasiones no se han alcanzado en estos niveles.

De esta experiencia, se puede extraer que en la escuela se pueden abordar nociones relativistas y en particular, de la TER, iniciando con un recorrido histórico, conceptual y matemático de los trabajos de Galileo, Newton y Einstein, así como algunas reflexiones sobre el electromagnetismo, óptica y demás. Para esto se requiere trabajar previamente conceptos como: marco de referencia inercial, movimiento relativo, inercia, espacio, tiempo y simultaneidad, conceptos relevantes tanto en la teoría newtoniana como en la TER, adquiriendo un significado trascendental en la forma en cómo se interpreta el mundo.

Si bien no se pretende abordar a profundidad estos conceptos con los estudiantes de la educación media, si se busca aproximarlos a una perspectiva que amplíe su forma de concebir el mundo; más aún, reconociendo, que muchos de los avances tecnológicos en los que están sumergidos estos jóvenes son consecuencia de estas teorías. En relación con lo mencionado, Arriascecq & García (2002) afirman:

¹ De ahora en adelante para referirnos a la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori.

² De ahora en adelante para referirnos a la teoría especial de la relatividad.

Sería importante que los alumnos pudiesen analizar y reflexionar que la TER posibilita la interpretación y explicación de diversos fenómenos de la naturaleza como el estudio de partículas subatómicas, fuentes de energía nuclear, etc., no estando, por lo tanto, restringida a cuestiones solamente de índole teórica. (pág. 62)

Retomando la práctica pedagógica en la ENSDMM, se evidencia que, en el ciclo profesional, los estudiantes tienen un primer acercamiento con un curso de física formal³, en el cual se hace visible que no se abren discusiones, ni reflexiones en temas de física moderna, en particular, sobre relatividad; aun cuando los estudiantes de este ciclo han escuchado el nombre de físicos como: Einstein, Galileo Galilei, Isaac Newton, Stephen Hawking o nominaciones tales como: agujeros negros, mecánica cuántica, teoría del big bang, viajes temporales, etc., desconociendo el contexto y el significado que esto tiene hoy en día.

Las verbalizaciones y actitudes que los estudiantes de la ENSDMM reflejan que estos conciben la física como complicada, sin ser un impedimento para que se cuestionen acerca de lo que pretende explicar en cada uno de sus campos de investigación. Ahora bien, los estudiantes, aunque expresan que no son muy buenos en el desarrollo de procesos matemáticos, les interesa saber el funcionamiento de los artefactos que los rodean como: celulares, pilas, cohetes, satélites y por otro lado, sobre las intenciones, preguntas y motivaciones que impulsaron a los físicos a postular sus teorías.

Continuando, los estudiantes durante la realización de laboratorios o clases experimentales⁴ se muestran receptivos, el hecho de reconstruir o modelar algún fenómeno despierta en ellos su curiosidad, los motiva a realizar preguntas e incluso a dudar; factor que, en comparación con las clases teóricas, no ocurre; en algunos casos, estas clases resultan repetitivas, cargadas de contenido matemático, lo cual dispersa la atención de los estudiantes e impide que se alcancen los objetivos del curso.

En relación con los Derechos Básicos de Aprendizaje emitidos por MEN (2016), la evidencia de aprendizaje⁵ en grado noveno tiene como objetivo general *comprender el movimiento de los cuerpos desde un marco referencial a partir de cantidades cinemáticas asociadas a la partícula (posición, velocidad y aceleración), y a su vez, comprender los casos particulares del movimiento, como lo son a) Movimiento rectilíneo uniforme MRU b)*

³ Debido al carácter Normal de la institución, antes de iniciar el ciclo profesional, los estudiantes únicamente ven ciencias naturales con énfasis en biología.

⁴ En la ENSDMM las clases de física se dividen en una parte teórica y otra experimental.

⁵ Son el conjunto de aprendizajes mínimos que los estudiantes deben alcanzar para cumplir con los objetivos del plan curricular

Movimiento rectilíneo uniforme acelerado MRUA c) Movimiento circular d) Movimiento parabólico, esto, de manera conceptual y matemática; se observa entonces, que en este primer nivel, no se discuten aspectos relativistas, como por ejemplo el movimiento relativo, que surge con Galileo, tópico indispensable en la mecánica clásica y la TER.

Por lo que se refiere a la evidencia de aprendizaje de grado décimo, los estudiantes deben *comprender que no hay diferencia entre reposo y movimiento rectilíneo uniforme; y que este se da cuando no existe fuerza neta alguna que actúe sobre el cuerpo y lo obligue a cambiar su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme; al mismo tiempo, deben comprender el concepto de conservación de la energía como un principio para cuantificar fenómenos como choques, sistema masa resorte, movimiento pendular, entre otros*. Una vez más, vemos que no existen discusiones referidas a nociones relativistas, aun cuando los estudiantes ya han visto temas que podrían vincularse conceptualmente con la TER, como marco de referencia, espacio, tiempo, medición, etc.

Por último, vistos los contenidos de grado noveno y décimo, los estudiantes deben comprender en el siguiente ciclo *la naturaleza de la luz y el sonido, vistos como fenómenos ondulatorios; aplicando leyes y principios ondulatorios para clasificar estos fenómenos; a su vez, deben comprender los principios básicos de la electrostática, identificando tipos de carga, y experimentalmente el funcionamiento de un electroimán, y como último tópico la comprensión de un circuito eléctrico, aplicando también, leyes y principios básicos de la física clásica*. En este orden de ideas, superados los tres ciclos, vemos que en ninguno está planteado abordar nociones relativistas. Se piensa que las teorías modernas son únicamente para el entendimiento de personas con capacidades intelectuales muy altas por su aparente complejidad, sin embargo, vemos que en la escuela se aborda la teoría mecanicista cuyo principal exponente es Isaac Newton, también aspectos básicos de la teoría electromagnética, ondas, etc., que, en principio, también pueden resultar complejas y poco comprensibles tanto en la teoría, como en la modelización matemática.

Sobre la pertinencia que tiene aproximar a estudiantes entre 15 y 17 años a nociones sobre relatividad especial, se resalta en las narrativas⁶ de algunos maestros de la UPN y la ENSDMM que: la enseñanza de estos conceptos son susceptibles de ser abordados en la escuela, siempre y cuando se le dé un enfoque adecuado, es decir, que se establezca un vínculo directo entre los conceptos y los intereses y motivaciones propios de los estudiantes; se precisa

⁶ Narrativas que se recogieron mediante entrevista semiestructurada y cuyos datos se sistematizaron y categorizaron para establecer los comentarios que se presentan.

partir de los conocimientos que poseen los estudiantes sobre cinemática; además enfatizan en la necesidad de que el abordaje se realice desde una perspectiva centrada en los conceptos y no en la modelización matemática, sin desconocer esta última.

Dicho lo anterior, los maestros consideran que el fin último de aproximar a los estudiantes a nociones relativistas, no es que comprendan la teoría con sus formalismos, ecuaciones, explicaciones rigurosas, sino más bien, que permita conectarlos con sus vivencias particulares, es decir, resignificar la física con su propia experiencia de vida; de modo tal que se constituya en un soporte que les genere interés para profundizar en estos temas o, porque no, introducirse al mundo de la física y de la ciencia en general. Hoy en día, vemos que algunos estudiantes abordan estos temas, ya sea con libros de texto, documentos en la red, películas y demás; sin embargo, sin una formación conceptual en física los estudiantes tendrían muchas dificultades para comprender estos temas y su impacto en el mundo.

A partir de lo anterior surge la siguiente pregunta problémica: ¿Cómo aproximar a los estudiantes de grado undécimo de la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori ENSDMM a la teoría especial de la relatividad, mediante las nociones de espacio y tiempo?

1.1. Objetivos

1.1.1. *Objetivo General*

Realizar un estudio que permita aproximar a los estudiantes de grado décimo de la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori ENSDMM, a las nociones de espacio y tiempo desde la teoría especial de la relatividad.

1.1.2. *Objetivos Específicos*

- Identificar en la estructura general de la escuela y en la normatividad colombiana los conceptos físicos que se abordan en los diferentes niveles de la educación básica y media.
- Identificar en las narrativas de algunos docentes argumentos que justifiquen la importancia de enseñar relatividad en estos escenarios.
- Elaborar un marco teórico que favorezca la apropiación conceptual tanto de los tópicos disciplinares como los referidos a la enseñanza de nociones relativistas en la escuela.
- Diseñar una estrategia, para abordar los conceptos de marco de referencia, espacio, tiempo, simultaneidad, y las consecuencias de los postulados desde el marco de la TER.

- Sistematizar y analizar los resultados obtenidos a través de la implementación de la estrategia de aula.

1.2. Justificación

Este trabajo de investigación tiene como propósito contribuir a las reflexiones y discusiones que se adelantan, frente a lo que se debe enseñar en las clases de física y su pertinencia en la formación científica y ciudadana de los jóvenes del país; principalmente, en nociones referidas al estudio de la TER dentro del contexto escolar. Se pretende realizar un estudio que permita aproximar a los estudiantes a conceptos relativistas como: espacio, tiempo, marco de referencia, simultaneidad, partiendo de las experiencias acumuladas por los estudiantes durante su vida académica y personal, utilizando aquellos conceptos de la física clásica que los estudiantes han abordado en sus cursos de física inicial; de este modo, el ejercicio investigativo se convierte en un ejemplo, que ilustra posibles caminos didácticos para aquellos que estén interesados en la enseñanza de estos temas en la escuela.

Los estándares básicos de competencias desarrollados por el Ministerio de Educación Nacional, en aras de fortalecer y enriquecer la formación en ciencias naturales dentro del contexto escolar, tienen como objetivo la construcción de pensamiento científico, el cual permite al estudiante comprender su entorno y las diferentes formas de pensamiento dentro de un contexto multicultural y diverso, para así, desenvolverse en un mundo susceptible al cambio. Al respecto el MEN (2006) manifiesta que:

Hacer ciencias, hoy en día, es una actividad con metodologías no sujetas a reglas fijas, ni ordenadas, ni universales, sino a procesos de indagación más flexibles y reflexivos que realizan hombres y mujeres inmersos en realidades culturales, sociales, económicas y políticas muy variadas y en las que se mueven intereses de diversa índole. (p.98)

Vemos así, como, dentro de la norma educativa se pone de presente la necesidad de que a los estudiantes de educación básica y media se les brinde una formación en ciencias con contexto, más actualizada; y que, a su vez, sea una herramienta para la formación integral del estudiante. Según el documento del Ministerio de Educación Nacional (2006) en relación con los estándares básicos de competencias, se afirma que: «Así entonces, el estudio de las ciencias debe dejar de ser el espacio en el que se acumulan datos en forma mecánica, para abrirse a la posibilidad de engancharse en un diálogo que permita la construcción de nuevos significados». (p.98) Sin embargo, vemos que, dentro del contexto escolar colombiano, esta forma de abordar las ciencias en la escuela no se visibiliza.

Así, lo anterior puede ser utilizado como pretexto para llevar propuestas que permitan variar (nutrir o complementar) las dinámicas frente a lo que se enseña en las clases de física en la educación básica y media, desde un enfoque que responda a las necesidades del estudiantado, del sistema escolar y al contexto actual, en donde hacer ciencias es una tarea de hombres y mujeres. En cuanto al contexto, evidenciamos que dentro de las instituciones educativas, el uso de equipos tecnológicos es indispensable para fortalecer habilidades y desarrollar competencias en los estudiantes; los cuales guardan relación de manera pragmática y teórica con los últimos avances que se han hecho en el campo de la física, en particular, la física moderna -mecánica cuántica y relatividad; en este orden de ideas, puede ser este un argumento más, para incluir en los contenidos curriculares discusiones de física moderna en relación con tecnología de vanguardia.

Aproximar a los estudiantes tomando como referente los conocimientos producto de la experiencia acumulada, puede ser clave en la comprensión de los conceptos que se abordan en la clase de física; sólo así, el estudiante podrá realizar analogías, vincular los conocimientos con su cotidianidad e incluso debatir y refutar situaciones de la vida social, para que así, evidencie los cambios constantes que sufren las teorías y la no linealidad en ellas; además de comprender que la física es una actividad que no busca verdades absolutas. Todo esto, a partir de la formulación de preguntas, de hipótesis, de un trabajo dinámico entre profesores y estudiantes.

En ese orden y retomando la idea de que no existen verdades absolutas, ni una sola perspectiva para analizar el mundo; aproximarse al estudio de las teorías científicas debiera permitir a los estudiantes, entender el contexto pluricultural del que son parte, comprendiendo que existen diferentes formas de pensamiento y expresión de tipo político, religioso, cultural, etc., los cuales responden a un contexto en particular. Esto pone de manifiesto que, dentro de un país tan diverso, es menester de la enseñanza de las ciencias contribuir en una formación que promueva el respeto, así como se establece en los Estándares Básicos de Competencias:

De acuerdo con la formación en y para los Derechos Humanos en el marco de la Constitución de nuestro país, es meta de la formación ciudadana enseñar a las y los estudiantes a respetar a quienes son diferentes, reconocerlos como sujetos con los mismos derechos y deberes e interesarse auténticamente por la perspectiva desde la cual el otro u otra observa la realidad y así hacerse a modelos cada vez más complejos de nuestra sociedad. (Ministerio de Educación Nacional, 2006)

Por último, los maestros de educación básica y media consideran que el currículo de física en bachillerato ha llegado a su límite, han puesto en consideración que es importante revisar los contenidos y abrir posibilidades que permitan vincularlos con la ciencia actual, potencializando habilidades de pensamiento científico en los estudiantes, a través de material audiovisual, literatura amena, experimentos mentales, con el fin de generar estrategias dentro del aula y que de alguna manera, la física resulte apremiante para estudiantes y maestros.

En síntesis, ampliar el panorama de perspectivas a las cuales se aproximan los jóvenes; enriquece sus modos de ver el mundo, les brinda oportunidades para comprender el contexto social y para asumir una postura crítica frente a los avances de la ciencia y su impacto en la vida del planeta; todo esto no implica desconocer las teorías clásicas, sino reconocer que existen diversos paradigmas o marcos explicativos para conocer el mundo.

1.3. Antecedentes

1.3.1. Antecedentes locales

Para los antecedentes locales se realizó una búsqueda de trabajos de investigación dentro del repositorio del departamento de física de la Universidad Pedagógica Nacional, que sirvan de apoyo para el desarrollo e implementación de este trabajo de investigación, sin embargo, evidenciamos que hay pocos trabajos que aborden nociones relativistas dentro del contexto escolar.

Encontramos el trabajo realizado por Guayara (2017), implementado con estudiantes de grado séptimo, el cual consistió en introducir a los estudiantes a conceptos espacios temporales desde el marco explicativo de la teoría especial de la relatividad a través de la implementación de una propuesta de aula; este trabajo, particularmente, permitió captar la atención e interés de los estudiantes gracias a un tema que en principio no está inscrito dentro de los currículos académicos a nivel de educación básica y media. En resumen, según Guayara (2017):

Se evidenció cómo el trabajo con los chicos pone de presente la posibilidad de llevar estos contenidos para que sean apropiados en la educación básica, en contraste con la idea más generalizada de las dificultades que representan estas teorías debido a su edad y a la asumida complejidad que tienen estos conceptos. (pág. 12)

Este trabajo se constituye en un antecedente importante para la presente propuesta, debido a que aporta elementos para reflexionar sobre los posibles caminos que se pueden

desarrollar dentro de la estrategia, pues las actividades que presenta el autor muestran un alto grado de reflexión.

Otro recurso importante es el de Sierra (2014) de la línea de profundización: Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural, el cual se titula «Análisis introductorio para la comprensión del segundo postulado de la teoría de la relatividad especial». Si bien el trabajo no tiene como objetivo hacer reflexiones o presentar alguna estrategia que promueva la enseñanza de la TER a nivel escolar, el trabajo propuesto tiene un alto grado de reflexión y análisis del segundo postulado de la TER y, además, presenta las diferencias conceptuales que subyacen en las nociones de espacio y tiempo, desde el mecanicismo newtoniano y la TER. Es por esto por lo que este trabajo se convierte en un antecedente importante, ya que nos permite generar nuestras propias reflexiones, tener una mejor comprensión conceptual y, además, nos abre posibles caminos didácticos para el diseño y construcción de la estrategia didáctica, como se mencionó anteriormente, gracias al nivel de profundización y reflexión de los postulados de la TER.

1.3.2. Antecedentes nacionales

Los siguientes trabajos de investigación realizados a nivel nacional, entorno a estrategias que impulsen el abordaje de temas de física moderna en la escuela, muestran de nuevo el interés que existe en que estos tópicos hagan parte del currículo en educación básica y media, al mismo tiempo, presentan las dificultades que se tienen a la hora de abordar las discusiones frente a estos temas con los estudiantes; así como para los maestros respecto a los retos que supone enseñar estas teorías dentro del contexto escolar colombiano.

En este orden de ideas, el trabajo investigativo⁷ de López & Urrego (2012) si bien no tiene como objetivo buscar estrategias para el abordaje de nociones relativistas dentro de la escuela, plantean un ejercicio investigativo sobre los problemas que reviste la enseñanza y aprendizaje de la física moderna orientada a los maestros en formación en la licenciatura de física y matemáticas de la Universidad de Antioquia, esto nos permite reconocer que el asunto de pensar la enseñanza de la física moderna y de los retos que se enfrentan involucra todos los niveles de la educación, ya que: «La formación de los futuros maestros debe ser vista como objeto de estudio con el fin de mejorar los procesos de los estudiantes» (López Posada & Urrego, 2012, p.4). Es así como, garantizar la formación del maestro puede elevar los niveles de conceptualización de las teorías.

⁷ Tesis de pregrado

1.3.3. Antecedentes internacionales

Con la finalidad de conocer de manera más global el estado actual de la enseñanza de contenidos de física moderna en educación básica y media fuera del territorio nacional, resaltamos dos trabajos de investigación que nos dan herramientas en cuanto a los retos que supone la implementación de estos temas dentro del aula y que de alguna manera enriquecen este trabajo de investigación.

Tomamos como referente internacional el trabajo de Arriasceq & Greca (2002), en el que se exponen algunas consideraciones de tipo epistémico, histórico y didáctico entorno a la enseñanza de la TER en el nivel medio y polimodal⁸ en algunas provincias de Argentina. En este ejercicio de investigación se presentan: las dificultades que sopesan el abordaje de conceptos relativistas como lo son espacio, tiempo, simultaneidad, etc., a partir de los libros de textos utilizados por los maestros (de tipo técnico o matemático), la formación del maestro en esta área, los conocimientos previos del estudiante, y las dinámicas dentro del aula de clase en la implementación de los contenidos. Así mismo, se presenta una estrategia orientadora que ilustra la forma en la que se podría estudiar los contenidos.

Esta investigación se constituye en un antecedente del presente estudio porque reconoce la importancia de la formación que tuvo el maestro durante su pregrado; presenta un análisis sobre los libros de texto y los abordajes que se realizan sobre la TER; muestra la forma en la que se pueden reconocer las ideas previas de los estudiantes; finalmente diseñan una estrategia didáctica que relleva el papel que juega el contexto histórico en el cual emergió la teoría en la construcción de conocimiento en los estudiantes. Del mismo modo en las conclusiones resalta las dificultades que enfrentan los estudiantes para apropiarse de estos conceptos.

Por último, el trabajo realizado por Pérez & Solbes (2006), presenta de manera general una propuesta de enseñanza para los docentes que deseen abordar la teoría de la relatividad, poniendo de presente que es un tema susceptible de ser abordado en contextos de educación básica y media. El documento pone de presente las dificultades que se presentan a la hora de abordar estos temas, como, por ejemplo, el abordaje acrítico en los conceptos espacio- tiempo, los contenidos de los textos, baja comprensión conceptual entre las reformulaciones que sufren los conceptos clásicos en relación con la teoría, entre otros.

⁸ Forma de educación utilizada en Argentina hasta 2011 en reemplazo de la escuela secundaria. Hoy en día, conocido como ciclo superior de la Educación Secundaria.

Capítulo II. Marco teórico

Este trabajo de investigación tiene como objetivo *realizar un estudio que permita aproximar a los estudiantes de grado undécimo de la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori a la teoría especial de la relatividad a partir de los conceptos de espacio y tiempo*. Se realizará un abordaje de los aspectos disciplinares con el fin de comprender el cambio que se da en la interpretación de dichas nociones, para esto, se tendrán en cuenta aspectos conceptuales e históricos de las nociones clásicas y modernas con relación a estos dos conceptos, además de eso, es necesario indagar acerca de la naturaleza y desarrollo del conocimiento en el ser humano, por esta razón, es indispensable tener en cuenta un marco pedagógico relacionado con la forma en cómo construye conocimiento y organiza la experiencia el sujeto.

Para los aspectos disciplinares centraremos nuestra atención en aspectos de la filosofía, en particular, la filosofía griega, aspectos relevantes del mecanicismo newtoniano; además de eso, algunos de los documentos escritos por Einstein, con el fin de aproximarnos a las construcciones que sustentan la explicación del espacio y el tiempo a lo largo de la historia como objetos de investigación; autores como Vargas (2009) conciben que abordar estos conceptos ha sido muy importante para el desarrollo de la física, ya que permite reorganizarla y tener una mejor comprensión de esta, además, cabe resaltar que no son conceptos exclusivos del campo de la física; al ser conceptos con un carácter polisémico se pueden hacer diversas lecturas de ellos teniendo en cuenta el campo de investigación o el contexto en el que se dan, sumado a esto, que las ideas de espacio tiempo subyacen a la construcción de conocimientos

Para los aspectos pedagógicos centraremos nuestra atención en la pregunta de *qué es conocer*, ya que al estar inmersos en un contexto educativo es importante tener en cuenta aspectos relacionados en la forma en como el estudiante construye el conocimiento a partir de su experiencia sensible y procesos de generalización y abstracción.

2.1. Marco Disciplinar

2.1.1. Los Conceptos de Espacio y Tiempo en la Filosofía Griega.

Los conceptos de espacio y tiempo han sido objetivo de investigación a lo largo de la historia por diferentes culturas, esto implica que, las interpretaciones que se dan a estas nociones son resultado de reflexiones propias de las comunidades, por lo tanto, dependen de

los procesos históricos y los factores socioculturales que subyacen a estas culturas. En este sentido Guarín (2013) señala:

Las culturas prehispánicas mesoamericanas como la mexicana y la maya dejaron en su legado pistas importantes acerca de la interesante comprensión que poseían sobre el espacio y el tiempo, impregnada por sus creencias de corte religioso, por sus modos de pensar y por su culto hacia la observación del cielo, lo cual les permitió crear ciudades altamente organizadas y calendarios mucho más precisos que los actuales. (Guarín, p.32)

Así como las culturas prehispánicas mesoamericanas tenían una cosmovisión acerca del espacio y el tiempo; otras culturas, como por ejemplo, la griega, establecieron también modos de hablar con relación a estas dos nociones, los cuales fueron determinantes en la formulación de las teorías espaciales y temporales en física, ya que allí se encuentran interpretaciones de corte poético, alegórico, jurídico, racional, entre otras, poniendo de presente la diversidad en la forma como se asumen esas dos nociones. Dicho lo anterior, encontramos en la cultura griega que una de las primeras formas de hablar acerca del espacio y del tiempo se hace a partir de narraciones cosmogónicas, es decir, haciendo uso de narrativas mitológicas para dar cuenta del origen del universo.

Ahora bien, para complementar esta idea, según Nicol (1995) todo proceso de formación de conceptos está supeditado por el carácter particular de un pensador, lo cual determina no solo el estilo de la obra, sino el grado de abstracción simbólica; esto, sin embargo, argumenta el autor, depende del proceso histórico que tiene su estructura dialéctica. Por eso, en un primer momento, encontramos que la formación de conceptos en la cultura griega tiene su base en la perspectiva cosmogónica, la cual se desprende «de un factor inherente a la condición misma del pensamiento, el cual determina el carácter de los sistemas simbólicos» (Nicol, 1955, p.144)

Hecha esta salvedad, las primeras formas de hablar con relación al espacio y el tiempo en la cultura griega están constituidas por una serie de símbolos concretos (mitológicos): «divinidades antropomórficas, personificación de las fuerzas naturales, dramatización de la existencia de seres divinos.» (Nicol, 1955, p.146). Así, en un primer momento, por ejemplo, encontramos en la perspectiva cosmogónica de Hesíodo, que el tiempo es denominado *el gran Cronos*, un dios con un carácter arbitrario, irregular y malévolos (Nicol, 1955). Esta forma de representación del tiempo en Hesíodo no pretende dar cuenta del porqué del tiempo ya que como lo afirma Guarín (2013):

Aquí las narraciones de Hesíodo reflejan los dogmas de la cultura griega sin adentrarse en el problema del porqué de las cosas, en este caso, el porqué del Espacio y el Tiempo, ya que las creencias son suficientes para dar cuenta de su origen. (p.18)

Es por esto por lo que, pensadores como Solón, Anaximandro, Heráclito y otros, se desprenden de esta perspectiva cosmogónica, con el propósito de significar las nociones de espacio y tiempo, alejados de los dogmatismos instaurados. En este sentido, podemos ver como Solón presenta el tiempo con la idea de un *tiempo-juez*, así, desde esta perspectiva «el tiempo ha perdido aquellos rasgos alegóricos de arbitrariedad malévolas y asume la función de un juez, cuyos dictados han de formar una jurisprudencia segura, constante e inapelable» (Nicol, 1955, p.152). Esta figura metafórica del tiempo, es decir, como un juez, significa al tiempo como un ente regulador de lo que está por pasar, al devenir.

Ahora, para el caso del espacio, éste también es representando de forma alegórica desde la perspectiva cosmogónica de Hesíodo, así, antes de que llegue a representar el vacío⁹, el espacio representa el Caos¹⁰, un lugar donde no hay nada antes de que sobrevengan los personajes cosmogónicos y teogónicos (Nicol, 1955). Según Hesíodo, este concepto es el principio de todas las cosas, incluso del tiempo (Guarín, 2013). En este sentido, y en contraste con lo anterior, los intentos por dejar de lado las perspectivas cosmogónicas motivaban a los pensadores a buscar formas más inteligibles de representar no solo el tiempo, sino también el espacio; es así como se empieza a transitar de formas alegóricas a formas conceptuales del espacio y el tiempo.

Dicho esto, encontramos otros filósofos que, en sus pensamientos abordaron las preguntas sobre el porqué del espacio y el tiempo, entre estos encontramos a Anaximandro, que, al referirse al espacio argumenta que este no fue creado, por el contrario, es el principio de todas las cosas o *ápeiron* (Guarín, 2013). Concibe al espacio como un lugar infinito e indeterminado, sin ningún tipo de características, es decir, carece de forma, tamaño u orden. En cuanto al tiempo, este adquiere un significado mucho más abstracto (tiempo juez), el cual determina el orden de las cosas, es infinito en magnitud, y determina la finitud de los seres que habitan el espacio. Además, el tiempo adquiere una topología circular, que, como lo menciona Guarín (2013) es «responsable de que las cosas vuelvan a su lugar de origen después de un

⁹ Según Nicol (1995) el espacio como vacío es un espacio físico, en el cual se mueven los entes.

¹⁰ En palabras de Nicol (1995) «La palabra caos significa en griego algo así como el abismo, la tiniebla; no significa el desorden y la confusión y, por consiguiente, más que el contrario de Cosmos es el antecedente directo de las nociones filosóficas de infinito, vacío y no ser» (p. 151)

determinado tiempo y que se ajusta a la idea de indiferenciación, pues el círculo es una figura homogénea» (p.37)

Además de estas perspectivas, pensadores como Platón, Euclides y Empédocles -por citar algunos-, se dieron a la tarea de diversificar las nociones de espacio y tiempo, hasta que Aristóteles, quien, en su tratado de Física, expone de manera definitiva las definiciones que se le dan al espacio (o lugar) y al tiempo, las cuales llegaron a instaurarse como un dogma, siendo después sustituidas en la ciencia del renacimiento. Mencionado esto, entre las diversas significaciones del espacio y del tiempo, encontramos alrededor del siglo V, con los pitagóricos, que el espacio está desligado de la realidad del mundo físico (Guarín, 2013). Entre las características que lo destacan, este es homogéneo, continuo (infinito), vacío y métrico; esta última característica «fue fundamental para la posterior construcción de un pensamiento matemático sobre el mundo, sobre todo gracias a la elaboración de sistemas numéricos que dieron paso a los primeros sistemas de medida de longitudes y hasta de tiempos» (Guarín, 2013, p.38)

Por otro lado, al igual que el espacio, el tiempo -desde la perspectiva pitagórica- adquiere una estructura métrica en cuanto es medible y empiezan los primeros intentos por instrumentalizar el tiempo, en este sentido, aparecen por ejemplo las primeras clepsidras para medir de manera precisa el tiempo. Otro rasgo importante, según esta escuela, es el carácter continuo (infinito) y pasajero, en cuanto éste siempre está fluyendo, idea que retomaría Aristóteles. Por último, las definiciones de los pensadores Platón y Empédocles, quienes significan de manera similar las nociones de espacio y tiempo resultan siendo de gran importancia para Aristóteles, ya que de allí toma algunos elementos que le permiten estructurar el significado de estos conceptos. Para Empédocles y Platón, el espacio no puede ser vacío -contrario a las ideas de otros filósofos- para ellos el espacio siempre contiene algo, además este no puede surgir de la nada ya que según Guarín (2013) «el vacío no existía puesto que no es posible que a partir del no ser (espacio vacío) surja el ser concreto (espacio pleno), pues para Empédocles nada puede surgir de la nada dentro de un mundo limitado» (p.37)

Y, en cuanto al tiempo, estos pensadores lo consideran lineal e infinito, el cual queda determinado por la sucesión de presentes, además, está vinculado con la idea de cambio y movimiento, ya que sin cambio y movimiento habría intemporalidad, siendo este la negación al tiempo (Guarín, 2013). Este último argumento es importante, ya que como se mencionó anteriormente, hace parte de los elementos estructurantes de la definición aristotélica del tiempo, noción que está vinculada con la idea de cambio, siendo el alma (o la mente) quien

tiene conciencia de dichos cambios, así, sin una conciencia del cambio, no habría tiempo según Aristóteles. Estas ideas se expondrán a continuación.

2.1.2. Aristóteles y su concepción acerca de lo espacial y lo temporal

Aristóteles es uno de los máximos exponentes de la filosofía griega gracias a la deconstrucción que realiza de las ideas de algunos filósofos, que, según la Fundación Libre (2016) mantuvo diferencias filosóficas con varias escuelas de pensamiento, razón por la cual, instaura en su doctrina un esquema de pensamiento lógico (denominado silogismo) con el fin de comprender la naturaleza, puesto que, según él, las leyes de la naturaleza serían fácilmente deducibles si se apela a raciocinios lógicos, de modo que, bajo la observación directa del fenómeno y el razonamiento lógico, los fenómenos de la naturaleza quedan, en este sentido, previamente determinados.

Es por esto, que en su tratado, titulado *Física*, presenta los conceptos más importantes, los cuales eran objeto de reflexión entre las diferentes escuelas de pensamiento, entre estas nociones están: el vacío, la materia, el infinito, el movimiento y los dos que nos ocupan, el tiempo y el espacio -o lugar-. Aristóteles toma las lecturas y desarrollos teóricos que han hecho otros autores, con el fin de hacer sus propias reflexiones, lo que le permite estructurar y organizar sus ideas en torno a estos dos conceptos. Razón por la cual es llamado el pensador del sentido común; habría que decir también que, su esquema de pensamiento predominó por casi 2000 años y se instauró como un dogma de la institución religiosa durante la edad media y terminó una vez entrado el renacimiento.

2.1.2.1. Sobre el Espacio.

El estudio del espacio¹¹ en la filosofía de Aristóteles, según Jammer (1954) tiene gran importancia dentro del desarrollo histórico de la física porque «constituyó la etapa decisiva para el desarrollo ulterior de las teorías espaciales» (p.37). De este modo, encontramos en el libro IV de su física las primeras menciones al problema del lugar y posteriormente una caracterización de este concepto a partir de la relación que tiene con los cinco elementos aristotélicos¹² los cuales, según Aristóteles, permiten entender que el lugar es *algo* hacia donde tienden dichos elementos, esto, debido a su movimiento natural. Para Aristóteles (s.f), si nada se interpone en el movimiento de estos elementos, estos tienden a su lugar natural, en el caso

¹¹ Según Jammer (1954), la teoría aristotélica, más que ser una teoría del espacio, es una teoría del lugar.

¹² Lo elementos aristotélicos son el aire, fuego, tierra y agua junto con el éter.

de los elementos livianos (fuego y aire) hacia arriba, y en el caso de los elementos pesados (tierra y agua) hacia abajo, estas direcciones, serían las partes del lugar junto con las otras cuatro direcciones espaciales (izquierda, derecha, delante y detrás)

Sin embargo, esta forma de significar el espacio, a partir de los cuatro elementos resulta ser mucho más abstracta; una definición completa del espacio en la teoría aristotélica se vale de dos conceptos que la complementan, estos son: tiempo y movimiento. Como lo menciona Guarín (2013) «El movimiento entonces, no sería posible si no estuviese contenido en el tiempo y si no existiera un espacio que cumpliera la función de receptáculo (*dektikón*) inmóvil» (p.22). Esto pone de presente el vínculo que guardan estos tres conceptos, lo que nos permite, en un primer momento, acercarnos a la idea aristotélica de espacio.

En este sentido, afirma Aristóteles, que el espacio al ser una especie de receptáculo está definido por las tres dimensiones que caracterizan a un cuerpo, es decir: longitud, anchura y profundidad sin ser éste un cuerpo, ya que es imposible que dos cuerpos ocupen el mismo lugar, habría que mencionar, que el espacio no está constituido de elementos, ya sean corpóreos o incorpóreos (Aristóteles, s.f.). Ahora bien, es importante mencionar que Aristóteles, a diferencia de otros pensadores -como Hesíodo, por ejemplo- no considera el espacio como un fin mismo, origen de las cosas, por el contrario, el espacio existe en cuanto existan cuerpos en él, si no hay cuerpos que ocupen un lugar entonces no habrá espacio (o lugar).

Por esto, Aristóteles diferencia dos tipos de lugares; el primero, el *lugar común*, en el cual habitan todas las cosas y el *lugar propio*, el cual puede ser ocupado por distintos cuerpos en diferentes instantes, además, es el lugar primario de las cosas, ya que como lo menciona Aristóteles (s.f) «Pues allí donde ahora hay agua luego habrá aire cuando el agua haya salido del recipiente, y más adelante algún otro cuerpo ocupará el mismo lugar.» (p.114) este tipo de lugar se relaciona con los movimientos de las sustancias elementales, ya sea hacia arriba o hacia abajo, según sea la tendencia de la sustancia en cuestión, razón por la cual, hay una dependencia entre el lugar y el movimiento natural de la sustancia.

Para concluir, podemos decir que, el espacio según la cosmovisión Aristotélica, guarda las siguientes características: a) es una especie de receptáculo en donde se mueven y permanecen los cuerpos b) no es materia, no es cuerpo, pero tiene magnitud en cuanto es finito y sus dimensiones son las mismas que las de un cuerpo c) es un sistema de referencia fijo, no se encuentra contenido en algo más y por ultimo d) contrario a otras posturas filosóficas, el espacio no es el principio en sí, este depende de la existencia de los cuerpos. De este modo,

según Jammer (1954): «el concepto quedo inmune a toda crítica que pretendiera demostrar la inconsistencia lógica».

2.1.2.2. *Sobre el Tiempo*

En cuanto a la noción de tiempo, este resulta ser un poco más abstracto en comparación con las interpretaciones expuestas por algunos filósofos, sin embargo, lo relevante en la definición aristotélica del tiempo es su relación con la experiencia del movimiento (o cambio). De este modo, para Aristóteles, en principio, el tiempo resulta ser un concepto extraño y confuso en cuanto que las partes que conforman el tiempo no permiten definir qué es, por un lado, el *pasado*, una parte del tiempo, ya pasó y por tanto ya no es, y el *futuro*, otra parte del tiempo, no ha pasado, por tanto no es, así, pareciera por lo tanto no existir, además, el *ahora*, otro instante en el tiempo, carece de temporalidad (duración), este se define como un punto arbitrario en el tiempo, el cual divide el antes y el después, como lo menciona Aristóteles (s.f) «El ahora no es una parte, pues una parte es la medida del todo, y el todo tiene que estar compuesto de partes, pero no parece que el tiempo esté compuesto de horas» (p.153)

Vemos entonces, que, las tres partes que conforman el tiempo, pasado, presente y futuro no nos permiten conceptualizar el tiempo, cabe preguntarse entonces ¿Cómo define el tiempo Aristóteles? Y, además, si pasado, presente y futuro no nos dicen nada del tiempo, ¿Qué elementos (o conceptos) le permiten definir el tiempo a Aristóteles? Es a partir de esta pregunta que el concepto de tiempo adquiere un significado importante dentro de la filosofía y la física. Menciona Aristóteles (s.f) que:

El tiempo es un cierto movimiento y un cierto cambio, habrá que examinar esto Porque sólo hay cambio y movimiento en la cosa que está cambiando o allí donde se dé el caso que algo se mueva o cambie; pero el tiempo está presente por igual en todas partes y con todas las cosas. Además, todo cambio es más rápido o más lento, pero el tiempo no lo es. Porque lo lento y lo rápido se definen mediante el tiempo: rápido es lo que se mueve mucho en poco tiempo, lento lo que se mueve poco en mucho tiempo. Pero el tiempo no es definido mediante el tiempo, tanto si se lo toma cuantitativamente como cualitativamente. (p.151)

Es por esto por lo que para Aristóteles la definición de tiempo está relacionada con la noción de movimiento o cambio, ya que, sin una conciencia o percepción del cambio sería imposible dar cuenta del tiempo. Es importante mencionar, además, que si bien tiempo y movimiento están mutuamente implicados, el tiempo no es el movimiento en sí mismo, este es

una medida, una magnitud con la cual medimos¹³ los cambios, en ese sentido, el tiempo es, en tanto exista algún movimiento que nos permita hablar del él; en palabras de Aristóteles, (s.f) entonces «el tiempo es número del movimiento según el antes y después, y es continuo, porque es número de algo continuo» (p.156) En conclusión, podemos ver como la noción de movimiento permite dotar de significado al tiempo, siendo esta la característica más importante y relevante dentro de esta perspectiva. La noción de tiempo por estar relacionada con la idea de cambio ha sido muy compleja de ser formalizada.

2.1.3. Sobre el Espacio y el Tiempo en la Mecánica de Newton.

Como se mencionó anteriormente, según Jammer (1955), tanto la noción espacial y temporal expuesta por Aristóteles quedaron al margen de cualquier especulación o susceptibilidad investigativa durante gran parte de la edad media, sin embargo, después de casi dos mil años, los conceptos de espacio y tiempo volvieron a ser tema de interés y discusión entre los principales filósofos del renacimiento, entre los que destacan: Galileo, Newton, Leibniz, Descartes, Clarke, entre otros. No obstante, y sin desconocer los aportes de estos pensadores, se expondrá particularmente el pensamiento de Newton en relación con las nociones de espacio y tiempo, ya que estos dos conceptos son los elementos estructurantes de la mecánica y, posteriormente, objeto de análisis en la TER.

Para empezar, es preciso mencionar que uno de los aspectos más relevantes de Newton fue su notable creencia y devoción en un ser supremo, este rasgo hizo parte del ejercicio investigativo de Newton. Como lo afirma Henry (2008) al referirse a la obra de Newton: «Una de las principales razones para el éxito de la filosofía natural de Newton fue el papel que ésta tuvo al desarrollar una teología natural valiosa» (p.70) Esta afirmación cobra sentido cuando se entiende el contexto en el que se desarrolla la obra de Newton¹⁴. En este sentido, las primeras aproximaciones que se hagan de los conceptos de espacio y tiempo desde la perspectiva newtoniana involucran a un ser supremo.

¹³ Es necesario precisar que la medición del tiempo desde esta perspectiva hace referencia a tener conciencia de los cambios, es la mente activa quien lleva el registro (o mide) de los cambios. La instrumentalización del tiempo es algo posterior. Sin conciencia no hay tiempo.

¹⁴ En la Inglaterra del siglo XVII el estudio del mundo natural buscaba comprobar la sabiduría, omnipotencia y demás atributos del creador (Henry, 2008), en este sentido, la obra de Newton fue adoptada rápidamente por los teólogos de la época como una obra que permitía entender a Dios.

Acerca del espacio en el pensamiento de Newton

El concepto de espacio desde la perspectiva newtoniana aparece en forma de escolio en el texto *Philosophiæ naturalis principia mathematica* publicado en 1687. En este texto, Newton expone claramente, como asume la noción de espacio, Según Newton (1687):

El espacio absoluto, tomado en su naturaleza, sin relación a nada externo, permanece siempre similar e inmóvil. El espacio relativo es alguna dimensión o medida móvil del anterior, que nuestros sentidos determinan por su posición con respecto a los cuerpos, y que el vulgo confunde con el espacio inmóvil; de esa índole es la dimensión de un espacio subterráneo, aéreo o celeste determinada por su posición con respecto a la Tierra. El espacio absoluto y el relativo son idénticos en aspecto y magnitud, pero no siempre permanecen numéricamente idénticos. (p.41)

Es menester, entonces, definir cada uno de los términos que aparecen en la definición que plantea Newton sobre el espacio, a fin de tener una mejor comprensión de este. Para empezar, Newton hace una clara distinción entre las cantidades absolutas y relativas referidas al espacio. En cuanto al espacio absoluto, este se considera el escenario del movimiento de los cuerpos, una especie de receptáculo -similar a la idea de Aristóteles- es estático, no se puede modificar, y es independiente de los cuerpos, a diferencia de Aristóteles, para Newton no hay puntos privilegiados en el espacio hacia donde tiendan los cuerpos, todos los cuerpos se rigen por la ley de la inercia, conservando su estado de movimiento, y de nuestra experiencia sensible; las características que se le pueden atribuir a este espacio vienen dadas por la perspectiva teológica de Newton, ya que, como lo menciona Voltaire (1738) « El espacio existe necesariamente porque DIOS existe necesariamente; es inmenso; como la duración, es un modo, una propiedad infinita de un ser necesariamente infinito» además agrega «que el espacio es una consecuencia necesaria de la existencia de DIOS.

Propiamente hablando, DIOS no está ni en el espacio, ni en un lugar; pero estando necesariamente en todas partes, DIOS constituye por ello mismo el espacio inmenso» (Voltaire, 1738, p.17). En este sentido, el espacio absoluto enmarca un tipo de realidad ontológica. Hay que mencionar que, las mediciones u observaciones que se hagan de los fenómenos naturales han de cumplirse en todos los sistemas de referencia inerciales, así, las leyes de la física desde esta perspectiva son invariantes.

Ahora bien, aparte de contar con una perspectiva teológica para la organización de su pensamiento, es importante mencionar que Newton hace de los conceptos físicos conceptos matemáticos y viceversa, de ahí que, el espacio absoluto como concepto físico adquiera un

carácter matemático. De este modo, Newton asume que el espacio absoluto posee la estructura geométrica del espacio euclídeo tridimensional (Maudlin, 2012), siendo infinito en todas sus direcciones, además de homogéneo¹⁵ e isotrópico, así, para cualquier observador, los puntos en el espacio permanecen siempre iguales, de modo que, este carácter matemático permite atribuirle al espacio una métrica por medio de coordenadas.

Ahora, con relación al espacio relativo, mencionamos anteriormente que no podemos conocer o dar cuenta del espacio absoluto por medio de nuestra experiencia sensible al ser este un atributo de Dios, sin embargo, como afirma Newton en su escolio, el espacio relativo es una medida móvil o dimensión del espacio absoluto (Newton, 1687). Es posible pues, que a partir de nuestra experiencia sensible se pueda dar cuenta del espacio relativo a través de las posiciones relativas de los cuerpos entre sí, además, expone Newton que la estructura matemática del espacio relativo es la misma que el espacio absoluto, así, el espacio relativo cumple con los axiomas de la geometría euclidiana. En resumen, el espacio relativo es la medida sensible del espacio absoluto.

Acerca del tiempo en el pensamiento de Newton.

La perspectiva de tiempo, al igual que la del espacio, aparece en forma de escolio en los principia, en este caso, su definición resulta ser mucho menos abstracta que la de espacio, sin embargo, cabe agregar que esta noción se define haciendo uso de las categorías bajo las cuales se ha definido el espacio, estas son: lo *absoluto*, *relativo* y *matemático*. Así expone Newton (1687), desde su perspectiva la noción de tiempo:

El tiempo absoluto, verdadero y matemático, en sí y por su propia naturaleza sin relación a nada externo fluye uniformemente, y se dice con otro nombre duración. El tiempo relativo, aparente y vulgar es alguna medida sensible y exterior (precisa o desigual) de la duración mediante el movimiento, usada por el vulgo en lugar del verdadero tiempo; hora, día, mes y año son medidas semejantes. (p.32-33)

Con relación a la definición expuesta, vemos entonces como aparecen dos nociones de tiempo que, según Newton es importante diferenciar, por un lado, el tiempo absoluto, definido como el tiempo en sí mismo, verdadero y matemático; esta concepción absoluta -al igual que la de espacio- tiene su origen en la teología natural, puesto que «Newton ve el fundamento de

¹⁵ Esta idea de homogeneidad espacial proviene principalmente de la teología de Newton, al considerar el espacio un *sensorium* de Dios, sin embargo, este concepto de homogeneidad adquiere un carácter matemático gracias al denominado «estilo newtoniano», estilo que permite aplicar métodos matemáticos de manera significativa a la filosofía natural (Cohen, 1980).

la duración en la eternidad de Dios, cómo ve el fundamento del espacio en su omnipresencia» (García, 1989, p.46) adquiriendo existencia ontológica en cuanto existe independiente de la experiencia que se tenga del mismo. (Castillo, 2011)

Siguiendo con el análisis, el tiempo absoluto, además de su existencia ontológica, tiene otras características que es importante precisar, como por ejemplo, su carácter matemático, que, en este caso, la estructura matemática del tiempo absoluto se representa por medio de la recta real (Rago, s.f) de ahí que, un lapso de tiempo corresponda a un segmento en la recta real, y un instante a un punto de esta (un número real), así, dicha estructura matemática queda determinada de forma lineal (línea recta) en donde cada punto representa el conjunto de instantes, los cuales conforman la totalidad de la historia. Por último, afirma Newton que, por su naturaleza, el tiempo absoluto fluye de manera continua¹⁶, siendo susceptible de ser medido, esta medida del tiempo absoluto es lo que llama Newton, el *tiempo relativo*.

En lo que concierne al tiempo relativo, este surge a partir de la noción absoluta del tiempo, así, para poder tener una medida del tiempo, se hace necesaria la existencia del tiempo absoluto (Lara & Miranda, 2001). Es menester hacer énfasis en que la noción relativa del tiempo implica una conciencia de este, ya que guarda relación con los eventos que se vinculan a nuestra experiencia, la medida de este tiempo puede ser inexacta, ya que es sensible, sin embargo, el fluir del tiempo en sí mismo permanece igual. Esta medida del tiempo se hace mediante el movimiento de los cuerpos, ya que, para Newton, el movimiento puede ser considerado como objeto (o evento) temporal, siendo la base de la experiencia de lo temporal (Castillo, 2011). Las ideas presentadas en este apartado se sintetizan de manera general en la Tabla 1.

Tabla 1

Pensamiento de Newton acerca del espacio y el tiempo

Espacio		Tiempo	
Absoluto	Relativo	Absoluto	Relativo
Tiene existencia ontológica.	Medida sensible del espacio absoluto.	Tiene existencia ontológica.	Medida sensible del tiempo relativo.
Esta en relación con una teología natural.	Podemos conocer el espacio relativo a partir de nuestra experiencia sensible.	Esta en relación con una teología natural.	Proviene de una conciencia, de nuestra experiencia sensible.
Su estructura geométrica sigue los principios de la geometría de Euclides. El espacio no tiene dirección.		Estructura matemática es lineal, y va en una sola dirección.	

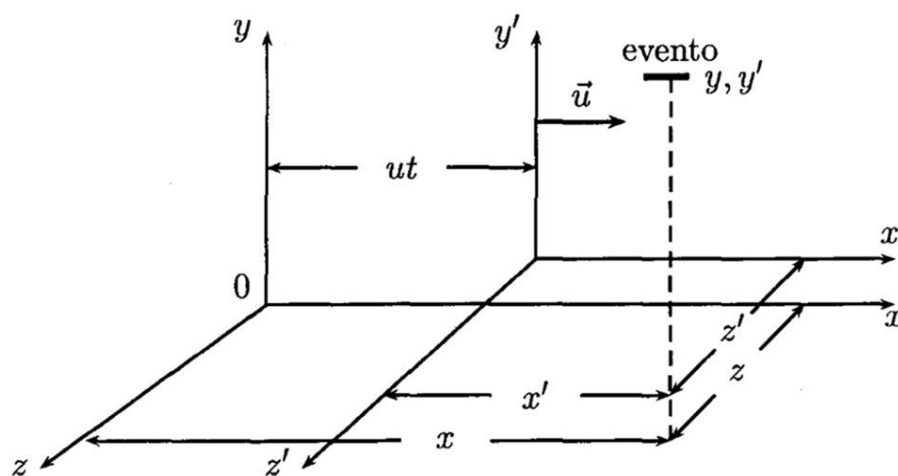
¹⁶ Afirman Lara & Miranda (2001, p.66) que «una ruptura en esa continuidad equivaldría a suponer una interrupción en la existencia del universo como totalidad y esto él (Newton) lo considera simplemente absurdo»

2.1.4. El Principio de la Relatividad Galileana.

En este apartado se discutirá el principio de relatividad galileana por su importancia en la descripción física de los fenómenos, ya que nos permite entender cómo se desarrolla un evento físico visto desde sistemas de referencia inerciales distintos. (Ver Figura 1). De este modo procedemos a describir de forma matemática el principio galileano con el fin de explicar físicamente las expresiones obtenidas.

Figura 1.

Relación entre sistemas inerciales de referencia



Nota. Tomada de (Castañeda & De-Gea, 2003, p.3)

Para realizar el análisis, tomamos un evento físico, que, visto desde el sistema Σ queda determinado por sus coordenadas espaciales (x, y, z) , y, visto desde el sistema Σ' queda determinado por (x', y', z') , este último con velocidad constante u respecto al sistema no primado.

El tiempo inicial medido por los relojes de Σ y Σ' será $t=t'=0$, así, los orígenes estarán en cero $\Sigma(0,0,0)$ y $\Sigma'(0,0,0)$. Una vez inicie la marcha de ambos relojes, Σ' ira alejándose de Σ con un tiempo $t=t'$, ya que, por un lado, los relojes esta previamente sincronizados, y por otro, el evento participa de la misma duración en ambos sistemas, lo que supone un *tiempo absoluto*. De ahí que, en el instante $t=t'$ las coordenadas espaciales del evento visto desde Σ con relación a Σ' son:

$$\begin{aligned}x &= x' + ut \\ y &= y'\end{aligned}$$

$$z = z'$$

$$t = t'$$

Y visto desde Σ' con relación a Σ son:

$$x' = x - ut$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

Estas expresiones, denominadas *transformadas de Galileo* nos permiten concluir que, a) el paso del tiempo no se ve afectado por el movimiento relativo de los cuerpos, así, por más lejano que un cuerpo se encuentre con respecto de otro participan de la misma duración, por lo que los relojes medirán el mismo tiempo y b) al igual que el tiempo, el espacio no se ve modificado por el movimiento relativo de los cuerpos o el observador, así, según García & De-Geus (2003): «No hay razón alguna para creer que el mecanismo de un reloj o la longitud de una regla se pueden afectar por observaciones hechas desde dos marcos de referencia inerciales en movimiento relativo constante» (p.4)

Para terminar nuestro análisis, si tomamos las expresiones obtenidas anteriormente y derivamos respecto al tiempo, obtendremos lo que se conoce como *adición de velocidades*. Para Σ' obtenemos:

$$u' = \frac{dx'}{dt} = \frac{d}{dt}(x - ut) = \frac{dx}{dt} - \frac{d}{dt}(ut)$$

Como u es constante nos queda que:

$$u' = \frac{dx}{dt} - u \frac{dt}{dt} = u_x - u$$

Para las coordenadas y' y z' :

$$u'_y = u_y; u'_z = u_z$$

Y si hacemos una nueva derivación para hallar la aceleración, obtenemos:

$$a'_x = a_x; a'_y = a_y; a'_z = a_z$$

Esta expresión resulta muy importante porque nos permite evidenciar que la aceleración que experimenta un objeto tanto en el sistema primado como en el no primado es exactamente igual, de este modo, si hacemos uso de la segunda ley de Newton, vemos que las acciones (fuerzas) que tienen lugar en los sistemas de referencia son las mismas, lo que nos permite decir que la segunda ley de Newton es invariante bajo una transformación galileana. Esto implica que «si se necesitan espacios, tiempos, velocidades, etc., para describir un fenómeno físico, las

mediciones de un observador inercial estarán en completo acuerdo con las de otro cuando use las transformaciones adecuadas; en este caso las de Galileo» (García & De-Geus, 2003, p.5)

Este principio, también denominado *principio clásico de relatividad*, no solo debía cumplirse para la mecánica de corte newtoniano, sino para cualquier otra teoría física. Sin embargo, no lo sería para el caso del electromagnetismo.

2.1.5. La Relatividad Especial.

2.1.5.1. Situación problemática a finales del siglo XIX

Así como la teoría aristotélica del espacio y el tiempo se vio modificada por el trabajo intelectual de Newton; parecía que el gran edificio de la mecánica newtoniana, hacia finales del siglo XIX, empezaría a sufrir en cuanto a su nivel de validez en relación con otras teorías físicas, en particular, con el electromagnetismo. Ya que, como lo menciona Sánchez (2007), citando las notas autobiográficas de Einstein, era habitual que:

(...) los físicos del siglo pasado [el XIX] vieran en la mecánica clásica una base firme y definitiva de toda la física e inclusive de toda la ciencia natural, ni tampoco que intentaran una y otra vez basar también en la mecánica la teoría de Maxwell del electromagnetismo. (p.3)

Mencionado esto, vemos como gran parte de los físicos ponen sus esfuerzos en hacer de la mecánica la base explicativa de los fenómenos físicos, lo que condujo a considerar lo mismo para el electromagnetismo. Cabe preguntarse entonces ¿Por qué el tipo de razonamiento en la mecánica no resulta viable al tratar la teoría maxwelliana?

Para responder a esta pregunta, es necesario mirar en primer lugar dentro de que marco explicativo se sitúan ambas teorías; como sabemos, la teoría electromagnética de Maxwell tiene sus bases en los trabajos experimentales de Faraday y en la perspectiva de campos, esta perspectiva, contraria a la newtoniana¹⁷, establece que las acciones entre los cuerpos no se dan de manera inmediata, por el contrario, depende del tiempo de propagación en el espacio. El trabajo de Maxwell se sintetiza en un conjunto de cuatro ecuaciones, en donde los conceptos teóricos (campo eléctrico, campo magnético, etc.) se expresan en función de las variaciones espaciales y temporales, lo que llevo a considerar que estas no serían absolutas, ya que, como lo menciona Guarín (2013) citando a Jammer (1954) «No podemos describir el tiempo de un evento excepto por referencia a otros eventos, o el lugar de un cuerpo excepto por referencia a

¹⁷ Esta perspectiva es «aquella que veía la atracción totalmente dependiente de los dos cuerpos que se atraen sin que se considere la acción que pudiera ejercer el medio o la que los cuerpos pudieran ejercer sobre él» (Ayala & Gramajo, 1996)

otros cuerpos. Todo nuestro conocimiento, sobre el espacio y el tiempo, es esencialmente relativo» (p.138). Así, en el contexto de la mecánica clásica, los fenómenos electromagnetismo se consideraban como la alteración de un medio, que en su época se llamó el éter, y el cual medio permitía que se propagara.

La perspectiva de campos se vale de conceptos relativos, la acción a distancia presupone las nociones absolutas heredadas de la tradición newtoniana, lo que genera dificultades en la descripción física de algunos fenómenos, particularmente, los fenómenos eléctricos y magnéticos. Además de esto, la teoría maxwelliana no sería compatible con el principio clásico de relatividad, según el cual, los fenómenos físicos deben conservar la misma forma en cualquier sistema de referencia inercial; para el caso de la teoría de Maxwell, este principio no se cumple ya que aparecen algunas inconsistencias al analizar fenómenos de orden electromagnético desde distintos sistemas de referencia inercial; así lo expresa Einstein (1905) al comienzo de su monografía: «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» (p.1) haciendo alusión a las anomalías cuando se analiza la experiencia electrodinámica entre un imán y un conductor, es decir, el evento físico visto desde dos sistemas de referencia (imán y conductor) es diferente.

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. (Einstein, 1905, p.1)

Y en el caso del conductor:

Pero si el imán está en reposo y el conductor se mueve, alrededor del imán no aparece ningún campo eléctrico, sino que en el conductor se produce una fuerza electromotriz que en sí no corresponde a ninguna energía, pero da lugar a corrientes eléctricas que coinciden en magnitud y dirección con las del primer caso. (Einstein, 1905, p.1)

De este modo, vemos que el conjunto de ecuaciones que conforman la electrodinámica maxwelliana no es compatible con la mecánica clásica, esto conllevó a pensar que: a) el principio de relatividad clásico solo era válido para la mecánica o b) que las ecuaciones del electromagnetismo eran incorrectas, en este caso, y como lo afirma Vélez (2016): «La falta de covariación de algunas fórmulas del electromagnetismo llevó a Einstein a pensar en la necesidad de una reforma radical de los principios teóricos de la física» (p.23), por consiguiente, la tarea de Einstein fue revisar las nociones que se tenían en la física clásica.

Cabe agregar además que, aparte de las situaciones problemáticas del siglo XIX, que por un lado, establecían la falta de covarianza de las leyes del electromagnetismo, se tenía, a su vez, «experimentos que crearon una situación altamente insatisfactoria con respecto a la teoría de los fenómenos electromagnéticos» (Gardner, 1966, p.39). En este contexto Einstein propone su teoría de la relatividad especial, la cual le permite explicar los resultados negativos de los experimentos relacionados a fenómenos ópticos y electromagnéticos (sin ser estos el problema principal de su trabajo) y por otra parte, consolidar una electrodinámica de cuerpos en movimiento. Todas estas problemáticas fueron solventadas, como se mencionó con anterioridad, al analizar las concepciones heredadas de la mecánica clásica.

Antes de continuar, vimos como el corpus de la mecánica newtoniana está relacionado con algunas nociones de carácter objetivo y absoluto (espacio y tiempo) de las cuales se derivan nociones relativas, las cuales guardan relación con nuestra experiencia sensible, siendo así, susceptibles de ser medidas, así, el espacio y el tiempo relativo resultan siendo la manifestación del espacio y el tiempo absoluto, en cuanto tenemos conciencia de ellos y pueden ser medidos. Son estas cantidades relativas las que Einstein toma como objeto de reflexión y de análisis, particularmente la de tiempo; como lo menciona Lara & Miranda (2001) «Einstein cuestiona en su teoría de la relatividad no la noción de tiempo absoluto, sino ciertas consecuencias relacionadas con problemas de sincronía que más bien se derivan del tiempo relativo, esto es, de la medida del tiempo» (p.65)

2.1.5.2. Sobre la Simultaneidad la Nueva Interpretación del Espacio y el Tiempo.

Para empezar, nos centraremos en la idea newtoniana del tiempo con el fin de evidenciar las problemáticas que llevaron a Einstein a proponer una nueva forma de hablar acerca del tiempo en física. De este modo, Newton nos habla sobre un tiempo absoluto que por su naturaleza es *homogéneo* y *lineal*, en cuanto fluye uniformemente sin relación a nada externo; esta distinción resulta problemática ya que, por un lado no permite distinguir la evolución temporal de un evento físico entre pasado, presente y futuro, recordemos que la homogeneidad implica que no se puede diferenciar un instante de otro (Castillo, 2011), en consecuencia, desde esta perspectiva no habría diferenciación entre pasado, presente y futuro, lo que trae consigo dificultades en la forma en cómo se asume la ubicación tanto espacial, como temporalmente de un objeto, recordemos que el carácter independiente del tiempo en la mecánica newtoniana, el tiempo es independiente del espacio y viceversa. Por lo tanto, , los

sistemas físicos comparten la misma duración con relación al evento físico, hablamos entonces de *simultaneidad absoluta*, siendo esta noción objeto de reflexión para Einstein.

En su texto de 1905 «sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento», Einstein hace una crítica entorno a la noción de tiempo y simultaneidad; este afirma que al referirnos al tiempo, lo que hacemos es establecer juicios acerca de sucesos que son simultáneos, lo que lo conlleva a presentar un ejemplo para precisar esta idea. En palabras de Einstein (1905): «Por ejemplo, cuando digo “Ese tren llega aquí a las 7,” esto significa algo así como: “El momento en que la manecilla pequeña de mi reloj marca las 7 y la llegada del tren son eventos simultáneos.”» (p.2) Einstein afirma que esta definición de tiempo (o simultaneidad) es suficiente cuando se considera la localidad del reloj y los eventos que ocurren en su vecindad, sin embargo, no será suficiente en la organización cronológica de eventos fuera de la vecindad del reloj, es por esto por lo que, comprender en principio cuál era la naturaleza del concepto de tiempo era el problema al que Einstein debía prestar atención, ya que «revisar la naturaleza del tiempo era una cuestión íntimamente vinculada con la validez de la mecánica newtoniana» (Sánchez, 2006, p.834).

De esta manera, dentro del marco explicativo de la TER, el concepto de simultaneidad queda determinando solo si se toma en cuenta el segundo postulado de la TER, el cual hace referencia a la constancia de la luz c ; este postulado relativista en el cual se asume un valor constante c trae consigo ciertas consecuencias en cuanto a los modos clásicos de hablar acerca del espacio, el tiempo, y la simultaneidad. Hemos visto como la linealidad del tiempo, según la mecánica clásica, nos permite determinar una escala ordenada de tiempo, esto es, fijar el conjunto de instantes que conforman la totalidad de la historia, en este caso, esta escala ordenada de tiempo permite que diferentes observadores inerciales estén de acuerdo en la simultaneidad de los eventos, independiente de la localidad del evento.

Ahora bien, si consideramos la constancia de c , el carácter absoluto del tiempo desaparece ya que este caso no habría forma de determinar una escala ordenada de tiempo, por consecuencia, distintos observadores inerciales no podrían estar de acuerdo en la simultaneidad de los eventos físicos según su estado de movimiento relativo; como lo menciona Vargas (2006), «La corrección al carácter absoluto del tiempo, se realiza cuando se empieza a tener en cuenta la propagación de la luz, en donde surge la necesidad de relacionar lugares dentro de un plano de simultaneidad» (p.16)

Esta nueva idea de tiempo deja de lado el imaginario newtoniano del tiempo como algo absoluto y matemático, y pasa a ser un tiempo relacional, es decir, un tiempo que «da cuenta

de la organización de los eventos, ya sea mediante una sucesión, en la cual unos eventos anteceden a otros, unos eventos suceden a los otros, o hay eventos que son simultáneos.» (Castillo, 2011, p.4) siendo la noción de simultaneidad la que permite establecer esta organización, ya que como bien lo menciona Einstein, al referirnos a sucesos de orden temporal hacemos referencia a eventos que resultan simultáneos. Esta nueva idea de tiempo deviene de la experiencia y la conciencia del individuo, en cuanto es capaz de medir el tiempo, y no de ideas objetivas de un tiempo en sí mismo.

Ahora, en relación con el espacio, esta nueva perspectiva hizo que nuestra forma de comprender tal concepto se alejará del imaginario newtoniano, de modo que, el espacio no se entiende como algo objetivo, cuya realidad es independiente a la experiencia del sujeto, al contrario, encontramos en el concepto de espacio un vínculo con la conciencia del individuo, en tal caso, podemos considerar espacios propios ligados a la conciencia de los eventos físicos. Hay que mencionar que, si se considera la constancia de c para el estudio del espacio, las longitudes de los cuerpos cambian en virtud del movimiento relativo entre dos sistemas de referencia inercial, dicho de otra manera si un observador mide la longitud de un cuerpo dentro de su sistema de referencia, dicha longitud será mayor que aquella longitud medida para el mismo cuerpo por otro observador en movimiento relativo, siempre y cuando mida dicha longitud en la dirección del movimiento (Guarín, 2013).

Así, la introducción del segundo postulado de la relatividad, y las consideraciones acerca de la simultaneidad, tienen un papel importante en la medición del espacio y del tiempo, ya que las consecuencias que se extraen de dichos procedimientos (dilatación del tiempo y contracción de la longitud) son los que permiten evidenciar la relatividad del espacio y del tiempo, de modo que, espacio y tiempo se encuentran interconectados entre sí, son relativos y por ende se pueden asumir como una unidad llamada espacio- tiempo. (Einstein & Infeld, 1958 citado en Guarín, 2013)

Para concluir, esta visión einsteniana nos hace pensar únicamente en tiempos y espacios locales y no universales, los cuales no son manifestación de tiempos y espacios de naturaleza objetiva, por el contrario, resultan siendo nociones fenomenológicas, en cuanto devienen de la posibilidad de tener conciencia de ellos, lo que permite hacer una organización temporal y espacial de los mismos en relación con los eventos físicos. A continuación, se presentará un cuadro comparativo de la perspectiva newtoniana y einsteniana, poniendo de presente las diferencias entre los conceptos de estudio de esta monografía.

2.1.6. Conclusiones.

2.1.6.1. Cuadro Comparativo entre la perspectiva newtoniana y einsteniana acerca del Espacio y el Tiempo

A continuación, se presenta a modo de conclusión un cuadro donde se sintetiza la perspectiva newtoniana y einsteniana acerca del Espacio y el Tiempo

Tabla 2

Cuadro Comparativo Entre la Perspectiva Newtoniana y Einsteniana Acerca del Espacio y el Tiempo

Perspectiva Newtoniana	Perspectiva einsteniana
Tiempo y espacio son conceptos independientes (ontológica).	Tiempo y espacio son organización del pensamiento humano
Tiempo y espacio no depende de la experiencia o conciencia del individuo.	Tiempo y espacio son nociones fenomenológicas en cuanto están relacionadas con la experiencia del sujeto.
Tiempo y espacio relativos son la manifestación del tiempo y espacio absoluto	Tiempo y espacio no son manifestación de cantidades objetivas, dependen del individuo.
Los eventos comparten la misma duración, lo que conlleva a la simultaneidad absoluta.	Los eventos no comparten la misma duración de acuerdo con su movimiento relativo. No hay simultaneidad absoluta.
La medición del tiempo y el espacio no se ve afectada por el movimiento relativo de los cuerpos.	La medición del espacio y el tiempo en movimiento relativo traen consigo la dilatación del tiempo y la contracción de longitudes.
Las transformaciones de Galileo solo abarcan fenómenos mecánicos. Solo los fenómenos son invariantes bajo la transformación de Galileo	Las transformaciones de Lorentz abarcan fenómenos de corte mecánico y electromagnético, siendo las transformadas de Galileo un caso particular de estas. (cuando $v \ll c$)
Tiempo y espacio entran dentro de la perspectiva de acción a distancia como base en la explicación de fenómenos físicos.	Tiempo y espacio entran dentro de la teoría de campos como base de explicación fenomenológica.

Capítulo III. Metodología

El presente capítulo tiene la intención de dar a conocer al lector los aspectos metodológicos en los que se enmarca este trabajo investigativo; por un lado, la población con la cual se llevó a cabo el desarrollo de la estrategia didáctica, la descripción de la estrategia presentando cada uno de los momentos, también, algunas consideraciones en cuanto a lo que entendemos como *estrategia didáctica*. Es importante hacer notar al lector que esta estrategia se desarrolló en un contexto de pandemia producto del SARS-CoV-2, lo que supuso un reto en materia educativa ya que implicó buscar y reconocer estrategias para adaptarlas a esta nueva realidad, mediadas por el uso de recurso tecnológicos y, principalmente el desarrollo de clases sincrónicas a través de diferentes plataformas virtuales.

3.1. Tipo de investigación

Este trabajo de investigación se implementó en un contexto que no es el propio de las practicas educativas presenciales, lo que implicó reconfigurar los aspectos metodológicos planteados en un primer momento, para adaptarlos a encuentros virtuales, aspecto que modificó la interacción con los estudiantes.

Esta investigación se desarrolló desde una perspectiva cualitativa, entendiendo por ésta aquella que produce datos descriptivos con relación a ciertos objetos de interés o fenómenos sociales, los cuales vinculan la perspectiva del actor social, así, la *investigación cualitativa* tiene como objeto el estudio fenomenológico de la vida social del actor (Bogdan & Taylor, 1987). De esta manera, el investigador, inmerso en un contexto en particular, examina los diferentes modos en que experimenta la realidad o comprende el mundo empírico el actor social. (Bogdan & Taylor, 1987).

Ahora bien, de acuerdo con las intenciones de este trabajo (inmerso en la investigación cualitativa), se toma como escenario de acción el espacio de encuentro sincrónico o aulas virtuales con estudiantes de grado undécimo, siendo estos, nuestros actores sociales. Teniendo en cuenta que la investigación cualitativa toma en consideración a los sujetos de forma holística, los análisis y las reflexiones que se hacen con relación a los temas propuestos muestran como los estudiantes encaran el mundo empírico a partir de sus sensaciones, imaginarios, creencias, perspectivas, ideas, etc., lo que les permite acercarse a ideas más elaboradas de modo que las puedan vincular y significar con aquellas ideas primarias.

3.2. Descripción de la comunidad de jóvenes

Los participantes de este trabajo de investigación son estudiantes de la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori, escuela ubicada en la localidad Antonio Nariño, en el barrio Gustavo Restrepo, esta escuela es de carácter mixto, con un énfasis en pedagogía; es importante mencionar que esta escuela es la única de tipo normalista dentro del sector oficial en la capital, y tiene como misión la formación de maestros de primera infancia. El desarrollo de la estrategia didáctica se hizo con estudiantes de grado undécimo, quienes se encontraban cursando el ciclo de profundización; sus edades oscilan entre los 15 y 17 años, siendo aproximadamente 30 estudiantes. La implementación de la estrategia tuvo lugar en las sesiones sincrónicas con los estudiantes por medio de canales virtuales a través de la plataforma Microsoft Teams generando discusiones abiertas en torno a los conceptos de espacio y tiempo a partir de preguntas problematizadoras.

Se considera que abordar los conceptos de espacio y tiempo complementan los contenidos temáticos que se vienen desarrollando actualmente en el plan de estudios de la institución, de este modo, la introducción a la TER en esta población permite hacer un ejercicio reflexivo entorno al contexto histórico y particularmente al cambio paradigmático que se tuvo de la mecánica clásica a la relatividad especial, no solo porque las nociones de espacio y tiempo hacen parte de nuestro quehacer, las cuales en un primer momento son parte de nuestra experiencia sensible, sino también porque son un elemento estructurante en el desarrollo de las teorías físicas, particularmente, en la caracterización formal de la mecánica clásica y la relatividad especial.

3.3. Descripción de la estrategia didáctica.

Como se ha mencionado anteriormente, nuestra intención no es presentar la TER con los formalismos que la caracterizan, por el contrario, se propone recoger las ideas, concepciones e imaginarios que los estudiantes tienen a partir de preguntas problémicas, esto, con el fin de hacer un análisis comparativo entre sus ideas y lo que nos dice la mecánica, y principalmente la TER, para así, aproximarlos a los planteamientos espaciotemporales que desde allí se plantean.

Para el presente trabajo de grado, se entiende la estrategia didáctica como el conjunto de acciones que han sido diseñadas para movilizar a los estudiantes a tener comprensiones sobre algunos conceptos, en este caso, las nociones de espacio y tiempo. Estas estrategias se

fundamentan en aspectos teóricos, pedagógicos y didácticos reconociendo las características de la comunidad objeto de estudio, de modo que:

Organizan de forma global la acción didáctica en el aula; determinando el papel que juega el docente, los estudiantes, los recursos y materiales educativos, las actividades de aprendizaje, la utilización del tiempo y del espacio, los grupos de trabajo y los contenidos temáticos. (Hernández, Luna & Recalde, 2015, p.79)

De acuerdo con lo anterior, la estrategia didáctica está compuesta por una serie de acciones divididas en tres momentos específicos, cuyo objetivo es aproximar a los estudiantes a las nociones de espacio y tiempo enmarcadas en la TER. A continuación, se presenta a) la descripción detallada b) el objetivo c) los recursos y d) las acciones concretas a desarrollar dentro de las clases para recolectar la información (datos) necesaria para aproximarnos a la forma en como los estos estudiantes abordan la temática y las actividades propuestas para cada momento.

3.3.1 Momento 1: Un viaje a través del espacio y el tiempo

Un viaje a través del espacio es el primer momento planteado en la estrategia didáctica el cual tiene por objetivo tener una primera aproximación a las nociones espacio y tiempo. En la Tabla 3 se presenta una síntesis del momento y en el Anexo 2 se exponen las actividades propuestas

Tabla 3

Momento 1 Un viaje a través del espacio y el tiempo

Título de la presentación	Un viaje a través del espacio y el tiempo.
¿Cuál es el propósito de la presentación?	El propósito de la presentación es dar a conocer a los estudiantes una serie de situaciones problemáticas con el fin de estudiar los conceptos de espacio y tiempo a partir del movimiento.
¿Qué idea debería quedar clara al finalizar la presentación?	La relación que guardan los conceptos de espacio y tiempo desde del movimiento y reposo de los cuerpos.
¿Qué información necesita para transmitir la idea principal a los estudiantes?	Concepciones clásicas sobre la forma en cómo se entiende el movimiento y el reposo, marco de referencia inercial, movimiento uniforme rectilíneo, observador. Espacio y tiempo según la mecánica clásica.
¿Qué conocimientos previos tiene la audiencia del tema?	Han visto un curso de cinemática, de dinámica, han abordado de manera general el principio clásico de relatividad y actualmente se encuentran cursando electrostática. Consideramos que los estudiantes tienen una idea preconcebida de las nociones de espacio y tiempo desde su experiencia.

En la Tabla 4 se muestra cómo se organizó el desarrollo del momento uno de la estrategia didáctica, allí se presentan los recursos utilizados en las sesiones sincrónicas, las

diferentes etapas, así como su descripción, esto, con el ánimo de hacer buen manejo del tiempo, ya que, por las dinámicas de la institución, era limitado.

Tabla 4

Desarrollo del momento uno de la estrategia didáctica.

Etapa 1. <i>Introducción</i>	En esta etapa se presentan las intenciones de la estrategia didáctica, es decir, el por qué y para qué, esto, con el ánimo de que los estudiantes tengan conocimiento de los temas a trabajar en las sesiones sincrónicas y las dinámicas de trabajo.
Etapa 2. <i>Reunión por grupo I</i>	En esta etapa se presenta la dinámica para abordar las preguntas planteadas, la idea es que los estudiantes piensen alrededor de ello y consignent las preguntas en un cuestionario. Cabe mencionar, que las respuestas se hacen de manera individual y con ello, aportan para la discusión general en grupo.
Etapa 3. <i>Reunión por grupo II</i>	En esta etapa el maestro en formación pasa por cada uno de los grupos de trabajo distribuidos en seis canales virtuales en donde se escuchó y evidenció los análisis que hacen los estudiantes sobre las preguntas que se les plantea (Ver anexo 2). Esto, con el propósito de ir fortaleciendo los conceptos introductorios hacia la TER.
Etapa 4. <i>Reunión general.</i>	En esta etapa nos reunimos en el canal general con el propósito de escuchar al representante de cada grupo y ver como abordaron las situaciones problemas, tanto de forma grupal, como de forma individual. Al final, junto al maestro en formación se respondieron las preguntas poniendo de presente los conceptos que allí intervienen y comparando las respuestas de los estudiantes.
Etapa 5. <i>Cierre.</i>	En esta etapa se hizo una conclusión de la actividad, resaltando su intensidad y como esto nos sirve a manera de introducción para los momentos posteriores.
Recursos	Para esta actividad fueron necesarios tres recursos que nos permitieron recolectar las impresiones de los estudiantes. Por un lado, la plataforma Microsoft Teams, lugar por el cual nos reuníamos sincrónicamente, Google Forms, para recoger las respuestas de los estudiantes, y por último, una guía de trabajo en donde estaban las situaciones planteadas.
Tiempo	Cada sesión sincrónica duró una hora con veinte minutos, que, por las diferentes dinámicas escolares, se reducía a una hora y diez minutos. Cada etapa tuvo una duración de veinte a 24 minutos. Este momento se desarrolló a lo largo de cuatro sesiones sincrónicas.

3.3.1. Momento 2: Esto se ha pensado del espacio y del tiempo, pero ¿qué pienso yo?

En la Tabla 5 se muestran a) las intenciones de este segundo momento, así como los objetivos planteados y b) la organización en el canal de encuentro sincrónico.

Tabla 5

Desarrollo del momento uno de la estrategia didáctica

Título de la presentación	Esto se ha pensado del espacio y del tiempo, pero ¿qué pienso yo?
¿Cuál es el propósito de la presentación?	El propósito de la presentación es entablar un diálogo entre las ideas de los estudiantes respecto a los conceptos de espacio y tiempo y las formas de hablar que se han estructurado a lo largo de la historia con relación a estos dos conceptos.
¿Qué idea debería quedar clara al finalizar la presentación?	Como las nociones de espacio y tiempo son producto del imaginario de algunos pensadores, el cual emerge de un contexto en particular, además, evidenciar como las distintas formas de hablar con relación al espacio y al tiempo están cercanas a nuestras formas de hablar de los mismos.
¿Qué información necesita para transmitir la idea principal a los estudiantes?	Concepciones del espacio y el tiempo en: los griegos, particularmente Hesíodo, Platón, Empédocles, Aristóteles. Además, las ideas que se plantean desde la perspectiva newtoniana.
¿Qué conocimientos previos tiene la audiencia del tema?	Consideramos que los estudiantes tienen una idea preconcebida de las nociones de espacio y tiempo desde su experiencia. Lo cual es importante para hacer un contraste entre las ideas de algunos pensadores y ellos.

Ahora, en Tabla 6 se muestra de forma descriptiva cada una de las etapas del desarrollo del momento número dos de la estrategia didáctica.

Tabla 6

Desarrollo del momento número dos de la estrategia didáctica

Etapa 1. <i>Introducción</i>	Saludo de iniciación. Presentación de las intenciones del segundo momento de la estrategia, respondiendo al porqué y para qué. Presentación de las directrices de la actividad.
Etapa 2. <i>Importancia de las nociones espaciales y temporales en física</i>	En esta etapa se hace una exposición breve de los conceptos de espacio y tiempo como objeto de estudio en la filosofía y en la física, dicho esto, se presenta a los estudiantes los diferentes autores que han teorizado al respecto. Esta pequeña síntesis nos permite empezar con una línea de tiempo que muestra cómo se han venido estructurando dichos conceptos. Se les pide a los estudiantes llenar un formulario con el ánimo de identificar los imaginarios o concepciones que tienen acerca de estos dos conceptos. (Ver anexo 5)
Etapa 3. <i>El espacio y el tiempo como objeto de estudio en la filosofía griega.</i>	En esta etapa, se inicia con la exposición de una línea temporal en donde se muestra como los conceptos de espacio y tiempo han sido objeto de investigación, los cuales algunos pensadores griegos han articulado dentro de su pensamiento para darle estructura a sus teorías. Entre estos pensadores encontramos a Hesíodo, Platón, Empédocles, Euclides, por citar algunos. Se muestra el carácter teogónico subyacente a estos conceptos.
Etapa 4. <i>Aristóteles acerca del espacio y la duración</i>	En esta etapa, se presenta la concepción de Aristóteles acerca del espacio y el tiempo (duración), ya que su teoría física fue la predominante hasta la denominada revolución científica, que pondría fin a las concepciones aristotélicas dando paso a nuevas interpretaciones al espacio y el tiempo.
Etapa 5. <i>Newton: Espacio y tiempo absolutos.</i>	En esta etapa de la estrategia, se presenta la visión newtoniana del espacio y el tiempo tal como aparece en su libro <i>Los Principia</i> , dando a conocer los elementos que permiten a Newton estructurar estos conceptos, como, por ejemplo: su devoción a una divinidad, la matemática y la geometría euclídea.
Etapa 5. <i>Socialización.</i>	En esta etapa, se realiza la socialización de las concepciones que los estudiantes tienen acerca del espacio y del tiempo con el ánimo de mirar cómo se ha dado la construcción de esos conceptos desde su experiencia y mirar rasgos distintivos con el pensamiento de los autores mencionados en la línea temporal.
Recursos	Para esta actividad fueron necesarios tres recursos que nos permitieron recolectar las impresiones de los estudiantes. Por un lado, la plataforma Microsoft Teams, lugar por el cual nos reuníamos sincrónicamente, Google Forms, para recoger las respuestas de los estudiantes, por último, una presentación en Power Point (Ver anexo 4) en la cual se presenta la línea temporal.
Tiempo	El desarrollo de este momento se llevó a cabo en una clase y media. Las primeras cinco etapas tomaron una clase completa con un tiempo estimado de una hora. La etapa seis de socialización tardó aproximadamente veinte minutos.

3.3.2. Momento 3: Algo en el tiempo me parecía sospechoso... La relatividad especial.

La Tabla 7 permiten evidenciar las características del momento 3, el cual tenía por objetivo vincular a los estudiantes con el concepto de tiempo, simultaneidad y los postulados de la TER

Tabla 7*Objetivos del momento 3*

Título de la presentación	Algo en el tiempo me parecía sospechoso... La relatividad especial.
¿Cuál es el propósito de la presentación?	El propósito de la presentación es introducir a los estudiantes a la teoría especial de la relatividad a partir de una serie de situaciones que involucran el concepto de tiempo, simultaneidad y los postulados de la TER, así como sus consecuencias, en las cuales está inmersa la noción de espacio. (Ver anexo 6)
¿Qué idea debería quedar clara al finalizar la presentación?	La noción de simultaneidad como elemento estructurante de la teoría especial de la relatividad.
¿Qué información necesita para transmitir la idea principal a los estudiantes?	Elementos básicos de la teoría newtoniana como marco de referencia, tiempo y espacio. Las situaciones problemáticas del siglo XIX entre la mecánica y el electromagnetismo. La noción de simultaneidad desde la TER y por último los postulados de plantea la teoría einsteniana, y así mismo, sus consecuencias.
¿Qué conocimientos previos tiene la audiencia del tema?	Los estudiantes han reflexionado acerca del papel que tienen los marcos de referencia desde la mecánica newtoniana, identifican el reposo y el movimiento a partir de estos. Tienen nociones básicas del movimiento relativo, así como elementos básicos de electromagnetismo.

En la tabla 8 se presenta el desarrollo del momento 3 en sus diferentes etapas, con el ánimo de acercar a los estudiantes a las ideas primarias que dan origen a la TER.

Tabla 8*Desarrollo del momento número tres de la estrategia didáctica*

Etapas 1. Introducción	Saludo de iniciación. Presentación de las intenciones del segundo momento de la estrategia, respondiendo al porqué y para qué. Presentación de las directrices de la actividad.
Etapas 2. ¿Qué es la TER?	Presentar a los estudiantes una breve introducción histórica acerca de la TER respondiendo a preguntas como <i>¿Quién fue Albert Einstein?</i> , <i>¿En qué año propone su teoría?</i> <i>¿Situaciones problemáticas que subyacen a la TER?</i> <i>¿Qué relación guarda con el electromagnetismo y la mecánica?</i>
Etapas 3. Desarrollo de la situación problema 1.	En esta etapa se plantea la lectura de la situación No 1 por parte de un estudiante del curso con el propósito de escuchar las respuestas que los estudiantes dan a esta. Se espera debatir en forma de plenaria los argumentos de los estudiantes y, por último, establecer conclusiones que nos permitan comprender la situación problemática planteada.
Etapas 4. Desarrollo de la situación problema 2.	En esta etapa se plantea la lectura de la situación No 2 por parte otro estudiante del curso con el propósito de escuchar las respuestas que los estudiantes dan a esta. Se espera debatir en forma de plenaria los argumentos de los estudiantes y, por último, establecer conclusiones que nos permitan comprender la situación problemática planteada.
Etapas 5. Cierre.	En esta etapa, se realiza la conclusión a las situaciones planteadas y, al mismo, como de ellas extraemos elementos que nos permiten acercarnos a las problemáticas que dan cuenta de un nuevo marco descriptivo como la TER. Se presenta la simultaneidad como elemento estructurante dentro de la teoría.
Recursos	Para esta actividad fueron necesarios dos recursos que nos permitieron recolectar las impresiones de los estudiantes. Por un lado, la plataforma Microsoft Teams, lugar por el cual nos reuníamos sincrónicamente, y dos presentaciones en Power Point en las cuales se presentan las situaciones planteadas y la exposición de la TER.
Tiempo	El desarrollo de este momento tomó alrededor de una hora de clase.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

El presente capítulo tiene como finalidad mostrar al lector algunos de los elementos más importantes obtenidos a través de la implementación de una estrategia didáctica para aproximar a los estudiantes de grado décimo de la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori ENSDMM, a las nociones de espacio y tiempo desde la teoría especial de la relatividad. Para este ejercicio se toma como referente las respuestas dadas por los estudiantes de manera oral y escrita en cada una de las intervenciones realizadas de manera sincrónica y asincrónica en el espacio académico de física.

Las respuestas que dan los estudiantes para cada momento de la estrategia se encuentran los Anexos No 3, No 5, No 9, respectivamente.

4.1. Momento 1. Un encuentro con mi experiencia... El movimiento.

El primero momento de la estrategia estuvo orientado a identificar ciertos elementos que, desde la experiencia de los estudiantes les permite hablar del reposo o movimiento de los cuerpos, esto, a partir de una serie de situaciones problema; así, en la primera pregunta se les pide a los estudiantes reflexionar sobre el estado de movimiento de un cuerpo (específicamente, una nave), para esto, los estudiantes se sitúan como participes de una situación problemática a la cual hay que darle solución, esto es, determinar si una nave que se encuentra a la deriva en el espacio se está moviendo o no, y si lo hace, en qué dirección

De esta manera, encontramos en las respuestas dadas por los estudiantes que hay una tendencia a considerar que nuestra experiencia del movimiento se da, siempre y cuando, podamos establecer una relación con otros objetos. Un porcentaje de estudiantes logra identificar este aspecto, de modo que, esto les permite a los estudiantes afirmar, como se mencionó anteriormente que, si tal relación se cumple, la nave estaría en movimiento; como lo comenta un estudiante «Al estar tanto tiempo en el espacio, perdería el sentido de la ubicación y al no tener un objeto que le permita saber en qué dirección va, no sabría con certeza en donde está ubicado», complementando, una estudiante afirma que «Creo que dependería de que tan cerca se encuentre a cuerpos como planetas o satélites naturales en el espacio, si no, no podría verse o sentirse un movimiento», se evidencia en la narrativa que presentan los estudiantes que, la relación del cuerpo con los objetos circundantes es muy importante para hablar del movimiento del mismo. Para ellos lugares como la tienda, sus casas, las calles son los objetos relacionales para saber si los cuerpos se mueven; un estudiante comenta «No se sabe si la nave se está moviendo ya que todo en el espacio es exactamente igual, es decir, no identificaría si me moví ya que no hay indicaciones como en la tierra para identificar los distintos

movimientos». De este modo su experiencia del movimiento se da partir de sensaciones y experiencias físicas.

Otro elemento importante que identifican los estudiantes es el de «marco de referencia» o puntos de referencia tal como se evidencia en sus verbalizaciones y escritos; para ellos la necesidad de establecer un punto de referencia es esencial en la descripción del movimiento, podemos encontrar por parte de una estudiante la siguiente afirmación «Si miramos un punto de referencia podríamos saber si la nave se está moviendo (...) Sin un punto de referencia sería un poco más complejo porque no se sabría» otro a su vez comenta lo siguiente «Uno como tripulante y sin nada más que la nave en que se va no se sabe si hay movimiento o no ya que no hay ningún punto de referencia, ni nada para poder ver si nos estamos moviendo» y por último, otro estudiante «Estando como tripulante no se podría esclarecer ya que no habría como un marco de referencia y no se sabría si las cosas se mueven, como la nave». Podemos evidenciar en las narrativas expuestas, que existe una similitud entre los estudiantes que usan una forma relacional para referirse al movimiento y los que utilizan la noción de marco de referencia, su diferencia radica en el lenguaje, es decir, en los términos que utilizan, ya que para ambos grupos es menester la existencia de algo que permita relacionar el objeto en cuestión y así dar cuenta del movimiento.

Por último, encontramos en otras narrativas el uso de ciertos conceptos físicos, los cuales los estudiantes utilizan para explicar o dar cuenta del movimiento o reposo de los cuerpos; por ejemplo, una estudiante comenta «no, porque estaría como levitando ya que no hay una fuerza que empuje a la nave a alguna dirección y aparentaría que se está moviendo en línea recta», aquí, la estudiante apela a una *fuerza de empuje* para hablar del movimiento de los cuerpos; otros, al respecto, consideran que la gravedad es una noción que nos permite dar cuenta del movimiento, como lo mencionan los siguientes estudiantes: «No se sabría si la nave se está moviendo o no ya que no hay gravedad», «No se puede saber, ya que como estamos en el espacio donde no hay gravedad, no sentimos el movimiento dentro de la nave», «Si se observan objetos alrededor de las personas o por la simple gravedad se podría observar que si está en movimiento». Es importante mencionar que, al preguntar a los estudiantes porqué estas nociones como gravedad, fuerza de empuje, etc., nos sirven para hablar del movimiento de los cuerpos los estudiantes no lograban construir un discurso coherente, lo que pone de presente algunas dificultades conceptuales.

A modo de conclusión, en esta primera pregunta los estudiantes identifican a) los objetos exteriores como elementos que permitan dar cuenta del movimiento de los cuerpos b)

la importancia de los marcos o puntos de referencia y c) comprenden que en el espacio no hay una dirección privilegiada.

Ahora bien, en cuanto a la segunda pregunta: «Como tripulantes de Axiom, ¿qué elementos necesitaríamos para saber que estamos en movimiento?» el caso resulta ser más complejo, esto, porque los estudiantes no logran comprender el sentido que tiene la pregunta ya que al referirnos a los elementos que nos permiten caracterizar el movimiento, estamos haciendo alusión a los instrumentos de medida, que, en este caso, son la regla para medir longitudes y el uso de relojes para medir tiempos. Encontramos dentro de las verbalizaciones y escritos de los estudiantes que los elementos que les permite hablar del estado del movimiento de un cuerpo son que existan otros objetos alrededor de él, ya que, según la experiencia de ellos, esto nos permite saber si nos estamos moviendo o no (esto da una sensación de lejanía o cercanía), como lo afirma una estudiante «Ver los alrededores de la nave y tener puntos de referencia, ya que dentro de ella no se sentiría un movimiento ni se sabría en qué dirección va», sin embargo, dentro de su narrativa no presenta esos elementos (objetos) que nos permitirían caracterizar el movimiento. Otra estudiante, siguiendo esta línea argumental comenta al respecto «Primero debemos encontrar un elemento en el espacio que desde nuestra perspectiva sea estable y pueda ser una referencia que nos permita ver si la nave se mueve o no. En este caso podríamos tener en cuenta la presencia de alguna estrella o planeta, que aunque pueden estar en movimiento, desde una perspectiva permite que el observador que está dentro de la nave logre ver el movimiento».

Es evidente que las descripciones que los estudiantes hacen apelan a su sentido común, además, teniendo en cuenta que, en nuestra experiencia no hacemos uso de instrumentos para determinar el movimiento de los cuerpos, sino que, por el contrario, lo hacemos a partir de nuestros sentidos (vista, por ejemplo) esto hace que se les dificulte poner en términos instrumentales esta idea de movimiento. Encontramos, sin embargo, estudiantes que en sus escritos hacen alusión a conceptos físicos, como por ejemplo el tiempo para hablar acerca del movimiento de los cuerpos; al respecto comenta «Primeramente un sistema de referencia, aunque también elementos útiles serían los sentidos y el tiempo», para agregar, una estudiante comenta «los elementos que necesitaríamos para saber que estamos en movimiento serien como: la velocidad, la aceleración en función del tiempo. junto a esto también se podría tener un punto de referencia la cual mientras se está en movimiento nos acercaríamos o alejaríamos de ese objeto planteado como una estrella o planeta, un reloj, el sol puede que tenga una gran función y el tiempo»

Por último, algunos estudiantes responden que los elementos que nos permiten dar cuenta del movimiento de la nave están en las variables cinemáticas, es decir, en la posición, velocidad y aceleración, sin embargo, al preguntarles sobre cómo podrían ser estas medidas o que elementos podemos utilizar para medirlas los estudiantes no responden. Algunos otros estudiantes responden con conceptos como fuerza, gravedad sin sustentar su respuesta. En esta ocasión y como se mencionó anteriormente, la pregunta se asumió en el sentido en que se había propuesto, por eso, se considera que los estudiantes tuvieron dificultades a la hora de dar cuenta de aquellos instrumentos que nos permiten caracterizar el movimiento, en este caso, las reglas y los relojes (siempre y cuando se cuente con un sistema de referencia adecuado). En este caso, consideramos que habría sido más adecuado el termino instrumento.

En la tercera pregunta **de la estrategia didáctica** se les pide a los estudiantes a partir de una situación problémica la cual es determinar que nave se está moviendo, teniendo en cuenta la posición de un observador (ya sea en la nave 1 o en la nave 2). Una estudiante comenta lo siguiente «Depende del punto de referencia, los de la nave 1 sentirán que la 2 se aleja o se acerca teniéndose como punto de referencia a sí mismos, y los de la dos exactamente lo mismo», otro estudiante al respecto comenta «Dependiendo la nave en la que se encuentre sentirá que la otra es quien se acerca, ya que en la nave que esté yo no estaría sintiendo cierto movimiento ni lo estaría observando por su alrededor». Evidenciamos en las respuestas de los estudiantes un resultado satisfactorio, ya que los estudiantes comprenden que no es posible determinar el estado de movimiento de la nave, solo puedo hablar del estado de movimiento de los cuerpos que se encuentran alrededor.

En conclusión, hemos encontrado que:

1. La experiencia sensible de los estudiantes es un factor determinante para dar cuenta del movimiento de los cuerpos. Los estudiantes comprenden que el movimiento se da en términos relacionales, es decir, a partir del vínculo con otros objetos (calles, postes, casas) y sus sensaciones (vista). Podemos ver, según las ideas e imaginarios de los estudiantes, como esta perspectiva del espacio está de alguna manera relacionada con la descripción que hace Leibniz de este; él asume que «el espacio no es nada, salvo la relación que concebimos entre los seres coexistentes; nada, salvo la ordenación de los cuerpos, su distribución, sus distancias, etc.» (Voltaire, 1996, p.16)

2. Los estudiantes comprenden que solo puedo hablar del movimiento de los demás cuerpos siempre y cuando no existan causas que los obligue a cambiar su estado de movimiento (movimiento uniforme o en reposo).
3. Se evidencia una mejor comprensión en la parte escrita que en la parte argumental; en las sesiones sincrónicas los estudiantes presentaron dificultades para organizar sus ideas, mientras que, en la parte escrita los estudiantes lograban articular las ideas.
4. Se evidencia el uso de conceptos físicos sin fundamentos, es decir, los estudiantes apelan a conceptos como gravedad, fuerzas de empuje, espacio-tiempo para dar respuesta a las situaciones planteadas sin relacionarlos con dichas situaciones.

4.2. Momento 2. Esto se ha pensado el espacio y del tiempo pero...¿Qué pienso yo?

En este segundo momento de la estrategia didáctica se recogieron algunas de las experiencias del momento anterior con el ánimo de ir retroalimentando el trabajo en el aula virtual. Una vez recogidas estas experiencias, el propósito de este momento fue, por un lado, a) abordar las percepciones, ideas e imaginarios que tienen los estudiantes sobre los conceptos de espacio y tiempo a partir de su experiencia sensible y b) presentar una línea temporal (ver Anexo 4) que pusiera de presente como los conceptos de espacio y tiempo han sido objeto de investigación a lo largo de la historia, partiendo de las reflexiones griegas a las newtonianas.

Para abordar las cuestiones acerca del espacio y el tiempo, se les preguntó a los estudiantes el significado que podían dar ellos a estos conceptos desde su experiencia sensible; cabe aclarar que dentro de las intenciones de este momento se contempló abordar lo relacionado con la medida de estas dos cantidades, pero debido a los tiempos y a las dinámicas propias de la escuela no fue posible.

En cuanto a la pregunta qué es el tiempo, partiendo de la experiencia sensible de los estudiantes identificamos dificultades para verbalizar lo que piensan acerca de esta noción aun cuando los estudiantes tienen consciencia de lo que puede llegar a ser o a significar. De esta manera, la mejor forma de acercarnos a las percepciones de los estudiantes fue a partir de las respuestas consignadas en un formulario de Google Forms. Para interés del lector, las respuestas se encuentran en el Anexo 5.

Dentro de las narrativas expuestas por lo estudiantes encontramos que la noción de tiempo para algunos estudiantes se relaciona con su instrumentalización, es decir, con aquellos

aparatos que permiten medir el tiempo, como lo menciona una estudiante «Es la unidad de medida, y que se refiere como a los relojes, cronómetros», otro estudiante comenta al respecto «El tiempo tiene como significado para mí como nos ubicamos y organizamos en la tierra por medio de dispositivos como el reloj» evidenciamos en estas respuestas como el tiempo está vinculado con la acción de medir. Para otros, el tiempo aparece como una magnitud que permite separar sucesos. Se toman en cuenta las partes del tiempo, es decir, pasado, presente, y futuro, esta percepción se refleja en las respuestas de varios estudiantes, por ejemplo, uno comenta al respecto que «Para mí, el tiempo es una magnitud física que sirve para separar sucesos, aquí está el pasado, presente y futuro», siguiendo este mismo argumento, una estudiante añade «El tiempo es una magnitud que nos permite contar la duración de acontecimientos y ordenarlos en secuencias (pasado, presente y futuro)». A partir de lo anterior, encontramos en un primer conjunto de respuestas, la idea del tiempo relacionada con los instrumentos que nos permiten medir el tiempo, y el tiempo como un ordenamiento de sucesos.

Otros estudiantes vinculan la noción de tiempo a partir de vivencias más personales, como por ejemplo, una estudiante, quien afirma que el tiempo es eso que nos permite crecer como personas «Es una noción que relaciono generalmente con la necesidad de cambiar en varios aspectos de mi ser cada cierto lapso de mi vida, con el objetivo de aprender y madurar» otra comenta que «Para mí el tiempo es la medida de sucesos o momentos de experiencias que se viven», vemos en estos casos como el tiempo se relaciona con una conciencia de cambios personales y experiencias.

Otro aspecto importante es el que tiene que ver con los conceptos que los estudiantes utilizan para definir el tiempo, vemos que en algunas narrativas aparecen nociones como *duración*, *lapso*, *sucesión*, *orden*, *acción*, *vivencias*, *cambio* siendo estos los más representativos en sus definiciones. El uso de estos conceptos permite así, organizar su experiencia sensible en torno a este concepto. Por último, podemos evidenciar en las narrativas de los estudiantes y en sus verbalizaciones las dificultades para definir este concepto, lo que nos remite a una frase de San Agustín «¿Qué es, pues, el tiempo? Si nadie me lo pregunta, lo sé; si quiero explicarlo a quien me lo pide, no lo sé» haciendo alusión a nuestra conciencia del tiempo demarcada por una imposibilidad para significarlo.

Como conclusión a la pregunta de qué es el tiempo, evidenciamos que dentro de las narrativas tanto orales como escritas el tiempo lo relacionan con a) aspectos personales de su vida, argumentando que el tiempo es aquello que no vuelve, lo que nos permite crecer, madurar, aprender a tomar decisiones, una idea vinculada con la vivencia del tiempo. Por otro lado,

algunas narrativas entorno al tiempo se relacionan con b) el instrumento de medida, lo que permite organizar nuestra experiencia, en este caso, se entiende el tiempo como un ordenamiento de la experiencia. Encontramos también, c) el tiempo como una magnitud que no se detiene, que avanza, algo sobre lo que no tenemos control, una magnitud con la que no se tiene contacto, es un concepto intangible, que, sin embargo, es susceptible de ser medido. Podemos agregar que, las narrativas tanto orales como escritas que los estudiantes presentan del concepto son difíciles comprender; en su parte escrita utilizan conceptos que no permiten estructurar una buena idea del tiempo, careciendo de claridad; en su parte oral, el discurso que presentan en ocasiones es ambiguo y se les dificulta utilizar palabras para significar el concepto aun cuando manifiestan saber que es el tiempo.

Ahora, en cuanto al concepto de *espacio*, este resulta ser mucho más complejo de definir, lo cual se evidencia en sus verbalizaciones y narrativas (Ver anexo 5). Dentro del primer conjunto de respuestas a la pregunta qué es el espacio podemos ver que los estudiantes asocian esta noción con el concepto de *lugar*, como lo menciona una estudiante «Es el lugar físico en el que habitamos», otra estudiante comenta que «El espacio es un lugar vacío en el que puede haber incidencia de objetos que interactúen con el mismo», no solo la idea de espacio se asocia a la noción de lugar, este además es entendido por los estudiantes como el lugar físico en donde se encuentran los objetos materiales; como lo comentan los siguientes estudiantes: «Es un lugar que debe ser visible, debe ser físico. Un lugar donde están los objetos, personas, etc.», «El espacio es un lugar en el cual se pueden ubicar diferentes objetos o acontecimientos específicos», «El espacio le da lugar a los objetos concretos que podemos percibir a través de los sentidos» y por último un estudiante afirma que el espacio es «una forma real y objetiva de existencia de la materia en movimiento, de todo lo que en algún momento nos rodea, teniendo en cuenta que el espacio es el que hace la realidad y no un mundo imaginario desarrollado por nuestro cerebro, en este se expresa la coexistencia de las cosas y la distancia entre ellas, su extensión y el orden en que están situadas unas respecto de otras»

Por último, encontramos en la estructura narrativa que presentan los estudiantes de sus respuestas dificultades para definir el espacio. Una estudiante argumenta que «El espacio es aquello en lo que hay una ausencia de objetos o materia, en donde solo se encuentra la nada y el aire ya que de no encontrarse el aire hablaríamos de vacío» en este caso la estudiante se refiere a conceptos como la nada, el aire, el vacío, sin embargo, no es clara la relación de los conceptos al momento de su argumentación, otro estudiante comenta que «El espacio es todo aquello que define el universo desde un punto de vista de los aspectos físicos que lo componen» esta

respuesta no es clara y evidentemente se le dificulta generar un discurso coherente, organizar bien sus ideas, etc.

Si bien, significar el espacio es mucho más complejo para los estudiantes que el tiempo, sus respuestas son bastante semejantes al considerar el espacio como a) un lugar en el que habitan los seres humanos y la materia, además b) es el lugar donde suceden cosas, es también c) un lugar en el cual puedo atribuirle una ubicación a los objetos y d) relacionarlo con la materia, idea que, por un lado, es contraria al pensamiento de Newton para quien el espacio no es un lugar y no tiene relación a nada externo, y que por otro está bastante ligado a la concepción aristotélica del espacio, quien consideraba el espacio como lugar, receptáculo de los cuerpos existentes. Cabe mencionar que los estudiantes no están familiarizados con las teorías aristotélicas, sin embargo, indirectamente tienes ideas similares a las de Aristóteles.

4.3. Momento 3. Algo me parecía sospechoso en el tiempo...La relatividad especial.

Este tercer momento se desarrolló en un único espacio académico de una hora con veinte minutos aproximadamente, cabe mencionar que, este momento en principio tomaría alrededor de dos espacios académicos, sin embargo, por las dinámicas de la institución, el tiempo extra en los momentos anteriores de la estrategia didáctica y la situación de pandemia, se desarrolló únicamente en un espacio académico lo que imposibilitó abordar a cabalidad los problemas y objetos de estudio de la TER, en este sentido, se optó en primer lugar por abordar una serie de situaciones problema que involucran el concepto de simultaneidad y por otro, una presentación con los aspectos más relevantes en la TER y el cambio paradigmático con relación a la perspectiva mecanicista de Newton.

Dicho esto, este tercer momento tuvo como propósito a) abordar el concepto de simultaneidad, siendo este uno de los conceptos determinantes en el corpus de la TER, esto, a partir de situaciones problémicas, lo que nos permite b) abordar conceptualmente los elementos objeto de estudio de la TER (en donde se enuncian sus postulados) y por último c) una reflexión con relación al impacto que tuvo esta teoría en la época y en nuestro contexto.

Las situaciones problémicas se plantearon de manera abierta y no grupal como en las sesiones anteriores de modo que, permitió que los estudiantes participaran de forma individual. Se fueron analizando las distintas situaciones y a medida que se complejizaba, la participación era más baja ya no que los estudiantes no lograba abstraer las ideas planteadas en cada situación. A continuación, se presenta cada una de ellas.

Situación 1. (Ver anexo 6, diapositiva 2)

Esta primera situación tiene objetivo ilustrar el concepto de simultaneidad y, sobre todo, analizar las interpretaciones que los estudiantes dan a esta noción, para ello se plantea la siguiente experiencia: Un vagón de tren se mueve con velocidad constante, dentro de él, en el punto medio, se encuentra una maquina lanza pelotas; en un instante t salen dos pelotas *al mismo tiempo*, golpeando las paredes del vagón de modo que, una que vez ocurre la colisión un bombillo se enciende en cada extremo. Ante esta situación se les pide a los estudiantes responder las siguientes preguntas:

1. ¿Qué se entienden por la expresión «al mismo tiempo» según la situación que experimenta el pasajero dentro del tren?
2. Si el pasajero y la maquina se encuentra en el punto medio del vagón ¿cuál luz se encenderá primero?
3. Si las pelotas salen al mismo tiempo, ¿podemos concluir que las pelotas llegan al mismo tiempo a las paredes?
4. ¿Qué puede decir un observador externo ante la situación que se da en el vagón de tren? ¿para él cuál luz va a encenderse primero «a o b»?

Ahora bien, con base en la primera pregunta, las respuestas de algunos estudiantes se refieren sobre todo a las condiciones con que salen las pelotas de la maquina mas no, al significado de la expresión *al mismo tiempo*, como afirma un estudiante «pues yo creo que al hablar de el mismo tiempo las pelotas salen con igual velocidad llegando así a las paredes igual creería yo» otro afirma que «salen igual al tiempo con la misma fuerza para que así puedan llegar a la pared las dos»; una estudiante, al contrario, comenta que «la expresión al mismo tiempo significa que las dos pelotas chocaran en el mismo instante con la pared, ya que ambas han salido a la vez».

Estas primeras respuestas nos permiten evidenciar que los estudiantes tienen una idea preconcebida de la noción de simultaneidad al considerar que si las pelotas salen en el mismo instante llegaran de igual forma en otro; las palabras más comunes para definir la expresión son: *a su vez, de igual forma, del mismo modo*, etc. Otro conjunto de respuestas nos deja ver como algunos estudiantes tratan de definir de forma más elaborada sus ideas, como lo comenta una estudiante en clase «pues yo diría que al decir al mismo tiempo nos referimos a que salen en conjunto, como de forma igual de la máquina, es como si las dos salieran primero por diferentes lados», otro comenta que «para mi significa que las pelotas salen juntas, es decir yo defino un instante y las pelotas salen disparadas juntas».

Es importante mencionar que en las verbalizaciones de los estudiantes no se evidencia el uso de la palabra simultaneidad, sin embargo, cuando se les pregunta que con una palabra definieran las expresiones que han usado, por ejemplo: *a su vez, de igual forma, del mismo modo*, los estudiantes inmediatamente responden que la palabra sería simultáneo.

En cuanto a la segunda pregunta sobre «Si el pasajero y la máquina se encuentra en el punto medio del vagón ¿cuál luz se encenderá primero? Y a la tercera pregunta «Si las pelotas salen al mismo tiempo, ¿podemos concluir que las pelotas llegan al mismo tiempo a las paredes?» Estas estaban orientadas a identificar que sucede con un observador al interior del tren y al exterior del mismo; para esto encontramos dos conjuntos de respuestas: la primera, aquellos estudiantes que consideran que las pelotas llegan al mismo tiempo porque salen disparadas en el mismo instante de tiempo t , de modo que, las, luces se encenderán simultáneamente para el observador en el tren; como lo afirman los siguientes estudiantes «si salen al mismo tiempo yo creería que el tiempo es el mismo para las pelotas en alcanzar la pared así las luces se prenderían al mismo tiempo», otro comenta que «para mí las luces se prenden al tiempo porque ninguna pelota sale después de la otra sino que salen al tiempo», evidenciamos en este caso que la experiencia de los estudiantes nos invita a pensar que ante tal evento, un observador concluiría que las luces se prenden simultáneamente.

Ahora, por el otro lado, encontramos estudiantes que, consideran que para que las luces se enciendan simultáneamente es importante conocer las condiciones iniciales con las que salen las pelotas, es decir, no es suficiente que salgan al mismo tiempo si por ejemplo estas no tienen la misma velocidad, aceleración o fuerza, siendo estos los conceptos más utilizados por los estudiantes en sus verbalizaciones; como lo sugiere un estudiante «considero que hay tener en cuenta la velocidad por que si una tiene más que la otra llegaría primero enciendose primero esa luz», también encontramos por parte de una estudiante que «deberíamos darle la misma fuerza a las pelotas porque puede que una llegue primero que la otra en ese caso una luz se enciende primero». Creemos que estas respuestas surgen precisamente porque no se mencionó al exponer la situación problema que las pelotas al salir de la máquina tiene las mismas condiciones iniciales, en ese sentido, consideramos que son razonamientos válidos para la situación que se planteó.

Y, con relación a la última pregunta, no fue tan sencillo para los estudiantes abstraer la situación para un observador situado fuera del tren, en este caso, la participación fue baja, pero dentro de las verbalizaciones que encontramos comentan los estudiantes que «no podría saber realmente porque si el tren pasa muy rápido no sabría», «debería moverse muy lento el tren

para poder ver la pelotas y saber cuál se enciende primero o si ambas», estas respuestas nos muestran que para los estudiantes la experiencia, el hecho de *ver* la situación es muy importante para dar respuesta a la pregunta, sin embargo, cuando se les pide que traten de idealizar la situación teniendo en cuenta que las pelotas salen y llegan a las paredes en el mismo instante de tiempo t , comentan de forma dudosa que debería confirmarse la misma situación para un observador externo al tren, así lo comenta una estudiante «lo que yo entiendo es que es como que si para uno (el del tren) chocan las pelotas en un tiempo para el otro en ese tiempo también deben chocar así no lo vea», esta respuesta se logra después de una serie de explicaciones con base en la situación planteada. Sin embargo, consideramos que no todos los estudiantes lograron abstraer la situación.

Lo que podemos concluir en cuanto a esta primera situación es:

- Los estudiantes tienen una idea preconcebida de la noción de simultaneidad, que, en su caso, relacionan con expresiones como: *a su vez, al mismo tiempo, a su vez, del mismo modo* en el contexto en que dos cosas ocurren en un mismo instante t
- Logran abstraer la situación cuando se sitúan a ellos mismos como observadores de la situación estableciendo la simultaneidad de un evento (encender una bombilla)
- Comprenden que la simultaneidad se da bajo condiciones iniciales idénticas.
- Los estudiantes no se logran movilizar a escenarios en donde el observador no hace parte del tren, lo que les impide abstraer la situación.

Situación 2. (Ver anexo 6, diapositiva 4)

Esta segunda situación tenía como propósito mirar que ocurre con la simultaneidad en el caso de trabajar con velocidades finitas, como la del sonido en dos sistemas de referencia inerciales, uno dentro de un vagón del tren y el otro fuera de él. Los estudiantes debían pensar en la siguiente situación y responder lo siguiente: se emiten dos sonidos en los extremos de un vagón de tren de modo que, la primera pregunta está orientada a mirar qué sucede en el caso en el que los sonidos se emiten simultáneamente hacia una persona que se encuentra sentada en el punto medio del tren y la otra, si una persona que se encuentra fuera del vagón (sobre la plataforma) percibe simultáneamente los sonidos. De acuerdo a esto, los estudiantes comentaron que «para el caso de la persona situada en el punto medio es igual que el caso de las pelotas si viajan a la misma velocidad el sonido hacia la persona este escucha el sonido al mismo tiempo» otro comenta que «si salen igual y tiene la misma velocidad el sonido pues los

escucha simultáneamente», en este sentido, se evidenció que los estudiantes lograron identificarse rápidamente con la situación anterior, así, el observador situado en el punto medio del vagón escucharía simultáneamente los sonidos emitidos en los extremos del mismo.

En el caso en donde tomamos un segundo observador, situado en la plataforma del tren, la participación fue baja por parte de los estudiantes, en el caso de los estudiantes que participaron argumentaron que «pasaría lo mismo que en el caso anterior pues si los escucha al mismo tiempo debería escucharlos afuera también creo yo», a su vez, otro comenta que «los escucharía al mismo tiempo porque el sonido se emite al mismo tiempo», cabe aclarar que a los estudiantes se les menciona el hecho de que la velocidad en este caso es finita y tiene un tiempo de propagación, de modo que no lograron aproximarse a la respuesta la cual era evidenciar que en este contexto la simultaneidad no se cumple, ya que en este caso depende de que tan cerca se encuentre la persona en la plataforma de las fuentes de sonido y la velocidad finita del sonido y su tiempo de propagación (en este caso, la trasera).

Por último, se les planteó a los estudiantes pensar si es posible hablar de una situación de simultaneidad y no-simultaneidad, tomando como ejemplo el caso anterior en donde para un observador (dentro del tren) el evento es simultáneo y para el otro (plataforma) no lo es. Ante tal planteamiento los estudiantes afirman que no, esto se evidencia en las explicaciones dadas por ellos «creo que no, debe ser simultáneo en ambos», «tendría que ser igual porque sucede en las mismas condiciones el suceso»

Podemos concluir de este momento que:

- Los estudiantes nuevamente no logran abstraer la situación para un observador fuera del sistema de referencia del vagón.
- Tienen un pensamiento newtoniano en relación con las velocidades de propagación y la noción de simultaneidad.
- Para los estudiantes los eventos, sea cual sea, ocurren en las mismas condiciones dependiendo del marco de referencia.

Situación 3. (Ver anexo 6, diapositiva 5)

Este momento tuvo como propósito movilizar a los estudiantes hacia el concepto de simultaneidad, que, dentro del contexto de la física moderna, es un concepto en la génesis de la TER, en este sentido, se planteó una situación similar al número uno (Ver situación 1), pero, en este caso, en vez de contar con una máquina lanza pelotas, contamos con una máquina que arroja rayos de luz de manera simultánea. Dicho esto, se les pidió a los estudiantes exactamente lo mismo que en las situaciones anteriores, analizar que sucede para un observador dentro y

fuera del vagón de tren cuando dos rayos de luz salen simultáneamente de la máquina; cabe mencionar que a los estudiantes se les mencionó el segundo postulado de la relatividad, es decir el de la velocidad de propagación de la luz.

Para el caso del observador dentro del tren, los estudiantes se remiten a la primera situación y argumentan que en este caso, los rayos de luz llegan simultáneamente siempre y cuando salgan al mismo tiempo, como lo argumenta un estudiante «creo que es como el caso de las pelotas, solo que tenemos luz entonces podría decir que llegan al mismo tiempo», a su vez otro comenta que «si se asume que salen con la misma velocidad y al mismo tiempo si llegan igual es similar a la situación primera», en este caso, los estudiantes estaban de acuerdo en que no había diferencia alguna, de modo que, para el observador situado dentro del vago del tren, las luces llegarían simultáneamente.

En el segundo caso, se les pidió a los estudiantes pensar si esta misma situación ocurriría para un observador fuera del tren; la participación para este momento fue bastante baja, porque persistía la dificultad de situarse fuera de su sistema de referencia, sin embargo, dentro de las verbalizaciones que encontramos, los estudiantes argumentaban que, los tiempos para los dos debe ser el mismo independientemente en donde se encuentren, de modo que también sería simultáneo. Así lo comenta una estudiante «como se mencionó pues si los tiempos son iguales salen y llegan al tiempo, así no esté dentro del tren», «depende de las velocidades, aunque creería que si no lo percibo como lo tiempos son iguales, serian simultanea la llegada a la pared para ambos»

Este último caso nos sirvió para movilizarnos hacia la TER y el papel que tiene la velocidad de la luz c , tomando algunos referentes teóricos de la perspectiva newtoniana.

La relatividad especial.

La última parte de la estrategia se centró en los aspectos teóricos de la TER tomando como referente la última situación propuesta, el papel que tiene la velocidad de propagación de la luz c y algunos supuestos teóricos newtonianos.

En primer lugar, se le aclaró a los estudiantes que si bien para el observador situado dentro del vagón la simultaneidad en los rayos era evidente, desde la TER para un observador fuera del tren, esta experiencia no era la misma, y que, por el contrario, hace parte de una perspectiva heredada por Newton, en donde cualquier evento independientemente el punto en donde ocurra, en un mismo instante será descrito por todos los observadores como simultáneo. Por eso la situación número uno resulto familiar a los estudiantes.

En segundo lugar, se le explico a los estudiantes que, desde la mecánica clásica, no existía una velocidad de propagación límite, en este caso podíamos considerar los eventos como simultáneos, de modo que, si nos centramos en esa perspectiva las respuestas al caso dos de la situación anterior sería correcta, porque entra dentro de esa visión mecanicista. Sin embargo, desde la TER se plantea un límite a la velocidad de propagación con la que se mueven los cuerpos, siendo la de la luz ese límite, de ahí el segundo postulado «la luz en el espacio vacío siempre se propaga con cierta velocidad V que no depende del estado de movimiento del emisor» (Einstein, 1905).

Bajo este postulado se explica a los estudiantes, como para el observador que se encuentra por fuera del tren la situación no sería simultánea. Para reforzar esta idea se planteó un ejercicio a los estudiantes en el cual pudieran evidenciar el rompimiento de la simultaneidad (Ver anexo 6, diapositiva 12), sin embargo, fue una idea difícil de asimilar por parte de los estudiantes ya que dentro de sus imaginarios la idea de una no-simultaneidad no resulta plausible, argumentando incluso si eso era cierto. Después de este ejercicio se mostró a los estudiantes el impacto de la TER en el mundo, por ejemplo, en la invención del GPS, los experimentos que confirman el segundo postulado de la TER, la dilatación del tiempo y contracción de la longitud.

Conclusiones

Teniendo en cuenta el análisis de los resultados presentados en el capítulo anterior y la experiencia en el proceso de construcción de esta monografía, podemos concluir en primer lugar, respecto a la pregunta de investigación sobre *cómo aproximar a los estudiantes de grado undécimo de la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori ENSDMM a la teoría especial de la relatividad, mediante las nociones de espacio y tiempo*, que:

El tema propuesto demanda un alto grado de razonamiento y abstracción, razón por la cual consideramos que los estudiantes no estaban preparados para generar reflexiones en torno a los conceptos planteados, esto se evidencia en el lenguaje y en las narrativas dadas por los estudiantes.

Se evidencia que el uso de situaciones problémicas para el desarrollo de conceptos y fenómenos físicos permite que los estudiantes puedan construir analogías, vivencias, experiencias, etc., lo que facilita la comprensión y apropiación de los conceptos y fenómenos físicos involucrados en dichas situaciones, de modo que, resulta una estrategia pertinente; sin embargo, cuando estas situaciones se complejizaron los estudiantes no pudieron abstraer la situación planteada lo que imposibilitó la construcción de analogías, vivencias, etc., con relación al fenómeno de estudio.

Además, es importante lograr una proximidad al lenguaje científico, ya que se evidencia en las verbalizaciones de los estudiantes que, utilizan términos producto de las construcciones y dinámicas sociales sin generar reflexiones frente a lo que implica utilizarlos en un contexto científico.

Ahora de acuerdo con el objetivo general propuesto en este ejercicio investigativo el cual era *realizar un estudio que permita aproximar a los estudiantes de grado décimo de la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori ENSDMM, a las nociones de espacio y tiempo desde la teoría especial de la relatividad*, y los objetivos específicos podemos concluir que:

Es necesario tener en cuenta las ideas preconcebidas que los estudiantes tienen de los conceptos en física, ya que este puede ser el punto de partida para articular la experiencia de los estudiantes con los contenidos disciplinares, esto con el ánimo de ir logrando una transformación gradual de los conceptos de modo que, el estudiante pueda construir sus propios criterios, ya que como lo menciona Bautista (s.f):

La construcción del fenómeno es una de las facetas de la actividad de conocer, (...) el fenómeno depende tanto del dato directo como del contexto de significación del sujeto

Lo cual nos conduce a la necesidad de ser conscientes del contexto de significados desde el cual estamos construyendo un fenómeno en particular. (p.4)

Además, es menester que, para abordar temas relacionados con relatividad o física moderna, se haga un estudio previo para alcanzar las comprensiones teóricas que implican estas teorías, es decir abordar en primera instancia nociones como espacio, tiempo y simultaneidad, para que el estudiante logre una apropiación conceptual de los mismos, ya que como vimos, son nociones que requieren un alto nivel de abstracción.

Asimismo, es importante evaluar los conocimientos previos de los estudiantes, su madurez cognitiva, contenidos disciplinares de la institución y otros, que el maestro considere necesarios para la implementación de estos temas.

Sobre la estrategia didáctica se puede afirmar que los planteamientos y las actividades propuestas pueden movilizar a los estudiantes a comprensiones del espacio y del tiempo, sin embargo, para alcanzar esto, se requiere de un mayor tiempo de intervención por parte del maestro, debido a que las dinámicas institucionales y, lo implica la virtualidad reduce los tiempo para abordar estas temáticas. En las primeras sesiones se hizo evidente la participación de los estudiantes porque se habían aproximado las actividades a momentos de su formación, sin embargo, cuando se complejizan las actividades y los conceptos, como por ejemplo el de simultaneidad, este se piensa desde la cotidianidad sin extrapolarlo a un contexto científico.

En cuanto al maestro, es importante pensar que concepto de espacio y tiempo debería tener el estudiante, ya que no se trata de adquirir información sino de construir conocimiento y poderlo significar con su vida, de modo que este ejercicio debe permitir al estudiante cuestionarse y no dar por hecho aquello que ya parece resuelto, como por ejemplo la pregunta de qué es el espacio y el tiempo.

Como se mencionó anteriormente, este ejercicio de investigación se realizó en un contexto ajeno a las practicas educativas comunes, en nuestro caso, en escenarios virtuales, de modo que sería interesante movilizar a futuro la investigación hacia escenarios presenciales y observar qué diferencias hay en la implementación virtual y presencial de contenidos de física moderna.

Por último, frente a la implementación de la estrategia didáctica podemos decir que esta no tuvo los alcances deseados por el nivel de abstracción que el tema demanda, que, como el lector pudo evidenciar en el análisis de los resultados, por un lado los estudiantes no logran abstraer algunas situaciones para lograr una proximidad al tema, y por otro, por las dinámicas institucionales y el tiempo de implementación.

Bibliografía

- Arriasecq, I., & Greca, I. M. (2002). Algunas consideraciones históricas, epistemológicas y didácticas para el abordaje de la teoría de la relatividad especial en el nivel medio y polimodal. *Ciência & Educação*, 62.
- Bautista, G. (s.f). La investigación. *Lecturas seminario de física moderna*.
- Castillo, J. (2011). Reflexiones sobre el tiempo en la física. *5to congreso nacional de enseñanza de la física* , 11.
- Einstein, A. (1905). *On the electrodynamics of moving bodies*. Berna: CreateSpace.
- Einstein, A. (1916). *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*. Madrid: Alianza Editorial, S.A.
- Einstein, A., & Infeld, L. (1938). *La física una aventura del pensamiento*. Barcelona: Salvat Editores, S.A.
- García , M. (1989). El tiempo en la física: De Newton a Einstein . *Enrahonar*, 39-59.
- García Castañeda, M., & De-Geus, J. E. (2003). *Introducción a la física moderna*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia UNIBIBLOS.
- García Doncel, M. (1989). El tiempo en la física: De Newton a Einstein. *Enrahonar*, 39-59.
- Gramajo, M. C., & Ayala, M. M. (1996). El concepto de carga en las teorías electromagnéticas de Maxwell y Hertz. *Física y cultura: Cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias*, 50-60.
- Guarín Castro, E. D. (2013). Diversidad conceptual y epistémica de los conceptos de espacio y tiempo. Bogotá, Colombia.
- Guayara Moreno, D. S. (2017). La enseñanza de la teoría especial de la relatividad: reglas fijas y relojes con estudiantes de grado séptimo. (*Tesis de licenciatura*). Universidad Pedagógica Nacional de Colombia., Bogotá.
- Henry , J. (2008). Isaac Newton: ciencia y religión en la unidad de su pensamiento. *Estudios filosóficos*, 69-101.
- Jammer, M. (1954). *Conceptos de espacio*. Cambridge : Harvard University Press.
- Lara Zavala, N., & Miranda, A. (2001). Newton, Einstein y la noción de tiempo absoluto. *Signos filosóficos*, 65-81.
- López Posada, Y. C., & Urrego, V. A. (2012). Problemáticas en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la teoría especial de la relatividad con respecto a los maestros en formación de la licenciatura en matemáticas y física de la Universidad de Antioquia. (*Tesis de licenciatura*). Universidad de Antioquia., Medellín. .

- Maudlin, T. (2012). *Filosofía de la física I*. Mexico: Fondo de cultura económica.
- Ministerio de Educacion Nacional. (28 de 12 de 2006). *Estandares basicos de competencias en ciencias sociales y ciencias naturales*. Obtenido de https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-116042_archivo_pdf3.pdf
- Ministerio de Educacion Nacional. (Mayo de 2006). *Mineduacion*. Obtenido de Mineduacion : <https://www.mineduacion.gov.co>
- Newton, I. (1687). *Principios matematicos de la filosofia natural*. Cambridge.
- Nicol, E. (1955). Los conceptos de espacio y tiempo en la filosofia griega. *Diánoia*, 137-180.
- Pérez, H., & Solbes, J. (19 de Mayo de 2006). *Una propuesta sobre enseñanza de la relatividad en el bachillerato como motivación para el aprendizaje de la física*. Obtenido de Enseñanza de las ciencias: <https://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v24n2/02124521v24n2p269.pdf>
- Sierra Pareja, A. (2014). Análisis introductorio para la comprensión del segundo postulado de la teoría especial de la relatividad. Bogotá, Colombia.
- Vargas Durango, M. A. (2009). Caracterización del Espacio-Tiempo de Minkowski. Bogota, Colombia.
- Velez, F. (2016). *Apuntes de relatividad*. Bogota D.C: Corcas editores SAS.
- Voltaire. (1996). *Elementos de la filosofía de Newton*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.

Anexos

Anexo 1. ¿Qué es conocer?

Como lo afirman Martínez & Ríos (2006), uno de los principales objetos de interés en la filosofía está no solo en la pregunta de qué es conocer sino sobre todo entender en qué consiste el acto de conocer. Esta pregunta resulta bastante amplia ya que implica plantearse otras preguntas, como por ejemplo ¿es posible conocer realmente? ¿conocer nos permite acceder a la realidad tal y como la percibimos? De modo que, son muchos los interrogantes alrededor de esta pregunta, sin embargo, para los objetivos de este trabajo, centraremos la pregunta de qué es conocer con relación a la forma en cómo construye y organiza la experiencia el sujeto teniendo en cuenta el contexto en el cual estamos inmersos.

Para empezar, es importante, como lo menciona Bautista (s.f), responder a la pregunta de qué es conocer a la hora de iniciar algún tipo de actividad investigativa, teniendo en cuenta la multiplicidad de aspectos que inciden en el ejercicio de conocer, estos aspectos pueden ser de contexto, significado, metodologías, etc.; sin embargo, ante tal pregunta, sería importante mirar en un primero lugar que entendemos por la palabra *conocer* para poder extender el dominio de la palabra a la pregunta *¿qué es conocer?*.

En este sentido, podemos decir que conocer es hacer uso de ciertas facultades con el fin de obtener información y establecer relaciones con el medio (objeto) con el propósito de entender que dichas relaciones, como lo menciona Martínez & Ríos (2006):

(...) el sujeto se pone en contacto con el objeto y se obtiene una información acerca del mismo y al verificar que existe coherencia o adecuación entre el objeto y la representación interna correspondiente, es entonces cuando se dice que se está en posesión de un conocimiento. (p.3)

En este caso, podemos ver que el acto de conocer recae en el sujeto, su relación con el objeto y la forma de obtener e interpretar la información, sin embargo, habría que mirar hasta qué punto la interpretación obtenida es correcta y en ese sentido, pensar si sería la única válida. Como se mencionó anteriormente, si la construcción de conocimiento recae en la relación del sujeto con el objeto, esta relación no necesariamente es la misma para todos, ya que cada sujeto, como ser individual, hace parte de un contexto, en el cuál adquieren significados particulares los datos que estén a su disposición (Bautista, s.f), es decir, que la forma de organizar la información y su experiencia se adecua al contexto de significación.

Dicho esto, ahora si podemos pensar en la pregunta planteada en un primer momento *¿Qué es conocer?* Podemos decir que conocer es un proceso en el cual recaen ciertas facultades

humanas, estas pueden ser de abstracción, de asimilación, de adaptación, etc., con el fin de obtener información de nuestro contexto u objeto, en este caso la interacción resulta vital, ya que como lo menciona Bautista (s.f) «Para conocer un objeto es necesario interactuar con él. Interacción que implica una modificación tanto del objeto como del sujeto» (p.2). En este sentido, una vez el sujeto se apropia de la información y la interpreta puede empezar a generar reflexiones en torno a aquello que está conociendo de modo que también lo pueda transmitir a otros.

Cabe precisar que lo anterior no implica que las reflexiones que genera un sujeto con relación al objeto de conocimiento sea la única interpretación válida, recordemos que, como se mencionó en uno de los apartados, el acto de conocer recae en un contexto y en una vivencia personal del sujeto y el objeto de modo que «el conocimiento es en esencia subjetivo nadie puede dar cuenta y menos conocer lo que otro conoce, así como no es posible sentir (física o emocionalmente lo que otro siente» (Bautista, s.f).

Anexo 2. Guía de trabajo del momento uno de la estrategia didáctica.

UN VIAJE A TRAVÉS DEL ESPACIO Y EL TIEMPO: LA RELATIVIDAD ESPECIAL

SESIÓN 1 – UN ENCUENTRO CON NUESTRA EXPERIENCIA: EL MOVIMIENTO

Querido lector, te invitamos a que pienses en qué tan a menudo reflexionas sobre aquellas cosas que en nuestra cotidianidad se dan “aparentemente” por hechas -y lo escribo entre comillas de manera intencionada, porque como veremos la naturaleza sabe cómo hace sus cosas- y si no, te invito hacerlo. En esta ocasión, quiero que descubras el maravilloso mundo de la relatividad especial, uno de los grandes constructos de la mente humana.

UN ENIGMA QUE DESCIFRAR... ¿HAY O NO MOVIMIENTO EN LA NAVE ESPACIAL AXIOM?

Axiom es solo una de las innumerables naves a cargo de la empresa Buy N’ Large Corporation (BNL), la cual, en principio, tenía como objetivo ser la empresa líder en turismo espacial, sin embargo, debido a la emergencia en el planeta tierra producto de la acumulación de basuras, la contaminación, y a la falta de recursos vitales se evacuaron a los miles de ciudadanos en estas naves, eso sí, sin saber si algún día volverán a la tierra o si se quedarán eternamente en el espacio.

Imagina lo siguiente... Un día, 350 años después de dejar la tierra, un tripulante de la nave espacial, quien tiene poco o nada de conocimiento sobre la tierra decide salir de los lujos, la comodidad y la rutinaria vida que allí se vive. Este tripulante no sabe cuántos años lleva en Axiom, tampoco sabe si la nave se dirige nuevamente hacia la tierra o quizás hacia un planeta que pueda albergar «hospedar» vida para él y los demás tripulantes o si simplemente se encuentra deambulando «yendo de un lado para otro» en el exterior o tal vez se encuentra quieta.

Si fueras tripulante de Axiom:

- ¿Podrías saber si la nave se está moviendo ya que solamente existe la nave y los tripulantes dentro de ella? Y si lo hace, ¿en qué dirección lo hace?
- Como tripulantes de Axiom, ¿qué elementos necesitaríamos para saber que estamos en movimiento?

Ahora imaginemos dos naves Axiom. No hay nada a su alrededor excepto estas dos naves las cuales viajan en línea recta y en sentidos opuestos, que pueden decir los tripulantes tanto de Axiom 1 como de Axiom 2:

- Para los tripulantes de Axiom 1, son ellos los que se acercan a Axiom 2 o es Axiom 2 acercándose a ellos.

- Para los tripulantes de Axiom 2, son ellos los que se acercan a Axiom 1 o es Axiom 1 acercándose a ellos.
- ¿Qué diría una persona fuera de las naves espaciales sobre el movimiento de estas naves?

Anexo 3. Respuestas de los estudiantes al momento 1 de la estrategia didáctica.

Estudiantes	Pregunta 1	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4
Estudiante 1	Creo que dependería de que tan cerca se encuentre a cuerpos como planetas o satélites naturales en el espacio, si no no podría verse o sentirse un movimiento.	Ver los alrededores de la nave y tener puntos de referencia, ya que dentro de ella no se sentiría un movimiento ni se sabría en que dirección va	Depende del punto de referencia, los de la nave 1 sentirán que la 2 se aleja o se acerca dependiendo como punto de referencia a si mismos, y los de la dos exactamente lo mismo.	El punto de referencia que se tenga. Y si lo percibimos con los sentidos
Estudiante 2	Si se observan objetos al rededor de las personas o por la simple gravedad se podría observar que si está en movimiento, ya para la dirección depende del lado al que se muevan las personas.	Para saber que esta en movimiento es necesario algunos objetos, esto con el fin de observar cambios en ellos.	A). Los tripulantes de Axuon 1 dirán que se acercan a Axiom 2 o es Axiom 2 acercándose a ellos.	Los objetos sobresalen en relación al movimiento, ya que con ellos se observa los cambios y se verifica si se mueve o no.
Estudiante 3	Uno como tripulante y sin nada más que la nave en que se va, no se sabe si hay movimiento o no ya que no hay ningún punto de referencia, ni nada para poder ver si nos estamos moviendo o no	Acá ya habiendo mas cosas aparte de solo la nave y los tripulantes, se puede tomar como punto de referencia el sol, como si la nave fuera un planeta y si la nave se está moviendo podrá ver el sol cambiar de ubicación	Desde mi punto de vista la pregunta se contradice porque si van en línea recta y sentido opuesto ¿Cómo se van a acercar?, en fin, es cuestión de percepción, los de la 1 piensan que los de la 2 se acercan y los de la 2 piensan que es los de la 1 que se acercan, si se acercan	Los puntos de referencia, ya sean lugares o objetos
Estudiante 4	Si podría haber movimiento ya que estando en el espacio pues la nave estaría levitando y tendría un movimiento en cierto sentido, no estaría totalmente quieta, pero estando como tripulante no se podría esclarecer ya que no habría cómo un marco de referencia y no se sabría si se mueven las cosas externas o la nave	Tener Un punto de referencia para saber si nos estamos alejando o no Y la unidad de medida que sería el tiempo Y cierta velocidad que podría ser constante	Si yo estoy en la nave de axiom 1 pensaría que la nave de axiom 2 es la que se está acercando Y si estoy en la nave axiom 2 pensaría que la nave axiom 1 es la que se está acercando	El punto de referencia es una de las cosas que nos deja esclarecer si un objeto está en movimiento o no, algo que sabemos que siempre está ahí quieto, como la tienda de la esquina un parque y demás cosas
Estudiante 5	No sé sabe si la nave está en movimiento ya que todo el espacio es exactamente igual, es decir no se identificaría si me moví ya que no hay indicaciones como en la tierra para diferenciar los distintos movimientos	El sonido del motor de la nave, ya que si está en silencio estaría claro que esta en reposo la nave	Dependiendo la nave en la que se encuentre sentirá que la otra es quien se acerca, ya que en la nave que esté yo no estaría sintiendo cierto movimiento ni lo estaría observando por su alrededor	NP
Estudiante 6	no, por que estaría como levitando ya que no hay una fuerza que empuje a la nave a alguna dirección y aparentaría que se esta moviendo en línea recta	que haya una presencia de fuerza, un punto de referencia y una unidad de medida	todo sería cuestión de percepción puesto que si estuviera en Axiom 1 dirán que se acercan a Axiom 2 o es Axiom 2 acercándose a mi y viceversa.	los cambios que se pueden dar en el espacio mediante la aplicación de una fuerza, los puntos de referencia y el movimiento de los objetos
Estudiante 7	No, Yo creo que la nave no se movería, estaría en reposo totalmente, ya que no habría una fuerza con la cual se ejerza el movimiento.	Mirando un punto de referencia como un planeta, y observar si la posición cambiaría con el transcurso del tiempo, va de acuerdo a una velocidad constante, es así que el movimiento es relativo dependiendo del sistema tomado..	Este problema es mas de percepción, ya que si estuviéramos en el Axion 1 sentiríamos que el que se acerca es el 2, y si estaríamos en el 2 sentiríamos que se acerca es el Axion 1.	Desde nuestra experiencia el elemento es tomar un sistema de referencia, ya sea algún lugar o objeto y de esta manera observar si hay movimiento
Estudiante 8	No, porque al estar dentro de ella no hay un sistema de referencia que nos indique que la nave verdaderamente se esta moviendo ya que no hay nada a su alrededor, además estando dentro de la nave no se sentiría el movimiento ya que pienso	Necesitaríamos un punto de referencia para observar si los estamos alejando o acercando, conocer la magnitud del tiempo que va de acuerdo con la aceleración y conocer si esta es constante o aumenta y disminuye, de esta manera podríamos saber	Siento que es cuestión de percepción y ubicación, porque si estamos en la nave uno podríamos decir que la nave dos es la que se esta acercando, pero si estamos en la dos diríamos lo contrario y es que la uno es la que se esta acercando	Un punto de referencia ya que así se sabría si el objeto se mueve de acuerdo a la posición de la cual se observe, así conoceríamos la aceleración y la fuerza que se ejerce en ese objeto

	que seria muy lento, podría haber movimiento y decir que la nave va en una linea recta con una aceleración constante pero no sabríamos o sentiríamos si se esta moviendo.	porque no se siente el movimiento	ya que nos encontramos dentro y no tenemos. Y si estamos afuera ya se podría decir con mas claridad que nave es la que se acerca a cual o maso menos observar la aceleración de cada una	para que se mueva, y el tiempo
Estudiante 9	puede ser por el funcionamiento de motores que impulsen el movimiento de la nave pero no se sabría hacia que dirección se dirige ya que no tiene algo de referencia para ubicarse	un radar sería lo más útil para saber si hay proximidad de algún planeta, astro o lo que sea	si no hay una comunicación entre ambas naves no se podría saber	un radar...
Estudiante 10	Es indeterminado debido a que no hay un punto de referencia ya que al rededor solo hay vacio	Motores	En el.caso de Axion 1 Axiom 2 de aproxima hacia ella y en el caso de Axion 2, Axiom 1 se aproxima hacia ella	Que la percepcion de movimiento depende de la visión de cada nave
Estudiante 11	No se sabe porque no hay datos concretos acerca de la nave o la aceleración, el movimiento, la fuerza, etc., que hay en el espacio.	Todo movimiento puede representarse y estudiarse mediante gráficas. Podría decirse que las que representan el espacio, la velocidad o la aceleración en función del tiempo, su medición es mediante km o m sobre segundo. Por otra parte, otro tipo de elementos podrían ser el tiempo, las estrellas o planetas que se encuentren al rededor. Además de que todo depende también desde donde se encuentre el observador y analice el movimiento.	NP	NP
Estudiante 12	No podemos determinar si la nave se mueve ya que no contamos con los datos suficientes de movimiento, que son aceleración, fuerza, entre otros	Primero debemos encontrar un elemento en el espacio que desde nuestra perspectiva sea estable y pueda ser una referencia que nos permita ver si la nave se mueve o no. En este caso podríamos tener en cuenta la presencia de alguna estrella o planeta, que aunque pueden estar en movimiento, desde una perspectiva permite que el observador que está dentro de la nave logre ver el movimiento.	NP	NP
Estudiante 13	no lo podría saber, ya que están en incógnita los datos para confirmar que la nave esta en movimiento y hacia que dirección.	los elementos que necesitaríamos para saber que estamos en movimiento serien como: la velocidad, la aceleración en función del tiempo. junto a esto también se podría tener un punto de referencia la cual mientras se esta en movimiento nos acercariamos o alejaríamos de ese objeto planteado como una estrella o planeta, un reloj, el sol puede que tenga una gran función y el tiempo.	NP	NP
Estudiante 14	Por la gravedad tal vez no sebtiriamos el movimiento	Punto de referencia, que nos permita evidenciar una trayectoria, una revisión de la nave para saber si los propulsores que impulsan la nave están en funcionamiento y una revisión de los años la velocidad y la gravedad durante todo el trayecto	NP	NP

Estudiante 15	No se podría saber en que dirección lo hace y si ella se encuentra en movimiento ya que no tiene elementos en el exterior que le diga si va hacia el norte o hacia el sur yo lo pondría en que no tendría un espacio tiempo, y que el espacio de por sí es igual	yo creería que si la nave esta en movimiento el elemento que se necesitaria es el motor a gas ya que eso nos daría cuenta de que ella esta en movimiento, pero si se encuentra en reposo no sabría que elementos poner ya que se necesita elementos a su alrededor que le digan si las esta sobrepasando	Creo que los dos se estarían acercando ya que van en dirección contraria y en algún punto pasaran por un lado la verdad no se	los elementos que necesitamos para dar cuenta del movimiento es un reloj, un metro o regla, y margen referente.
Estudiante 16	No con certeza, puesto que a medida del tiempo transcurrido, se idealiza el movimiento hasta el punto de naturalizar, por ejemplo, la tierra, que aún así está en movimiento pero nosotros aunque lo sabemos no lo sentimos. La dirección es incierta ya que el espacio es infinito por lo que no se tiene dirección en sí.	Los puntos de referencia	NP	Un reloj
Estudiante 17	No se tiene ningún punto de referencia para comprobar que en realidad se dirige a un punto en específico.	Ubicar puntos de referencia, analizar qué tan lejos estamos de un astro.	NP	NP
Estudiante 18	La nave sí está en movimiento, debido a que el movimiento se podría definir que es un cambio de posición con respecto a un punto de referencia, que podría ser el planeta Tierra. Y siguiendo con esta idea de que la tierra es punto de referencia, la nave podría encontrarse en reposo, que es relativo (inercia); si este es el caso, si la nave se encontraría en órbita, están cayendo debido a la aceleración de la gravedad, y los habitantes que están dentro, los cuales caen al mismo ritmo, de modo que parece que no hay gravedad "aparentemente" pero en realidad es una situación de caída libre.	NP	NP	NP
Estudiante 19	Al estar tanto tiempo en el espacio, perdería el sentido de la ubicación y al no tener un objeto que le permita saber en que dirección va, no sabría con certeza en donde esta ubicado.	Conocer las relaciones entre los objetos dentro del espacio.	NP	NP
Estudiante 20	La nave esta ubicada en un lugar donde todo es igual por lo tanto así la nave por el motor se este moviendo no se sentiría ningún movimiento y tampoco se evidenciaría la dirección a la que se dirige.	Pienso que para poder determinar un tipo de movimiento o la aceleración que se vea podría ser importante algún tipo de viento para si dependiendo del viento que se sienta podemos ver si se ve el movimiento, también otro podría ser ver algún elemento que identifique el lugar en donde este la nave y lograr mirar si cambia de lugar o no.	Pueden se la A ya que ambos tripulantes pueden ver como cada nave se acercan mutuamente.	NP
Estudiante 21	No hay un dado específico para saber si la nave se encuentra en movimiento, por lo tanto sin un sistema de	Para saber si la nave se esta moviendo se debe primeramente tener un punto de referencia, donde con ese	Ambas opciones están correctas, lo único que cambia o depende en esto es el punto de vista que lo	Para dar cuenta del movimiento se requiere establecer un punto de referencia que permita

	referencia ya sea el desplazamiento, el tiempo que demoró en desplazarse de un lado a otro u otra cosa sería difícil saber si hay o no movimiento en la nave	punto de referencia tengamos en cuenta la velocidad, el tiempo que demora en desplazarse	vea el observador tanto de la nave 1 como de la nave 2	brindar información respecto a lo que se observa y establecer un nexo entre un objeto y otro, además se debe contar con un elemento que permita dar a conocer el lugar en donde se encuentra dicho observado
Estudiante 22	Es difícil saber ya que por ejemplo ave en la tierra nosotros tenemos como referencia el dejar atrás las casas ya pasadas y el sonido del motor, pero en espacio es muy difícil ya que no hay referencia y tampoco aire y al momento de no haber aire no se puede escuchar el sonido del motor	Lo. Que necesitaríamos será una referencia para podernos guiar de que estamos en movimiento	Todo depende del movimiento y de la manera que lo vean cada uno de las tripulantes	Los elementos o los instrumentos que necesitamos son: la referencia, la posición y el tiempo
Estudiante 23	No hay un dato específico que nos hable acerca del movimiento, la fuerza o la aceleración.	Como tripulante tenemos que tener claro el sistema de referencia para que a partir de el podamos establecer una posición, un espacio/tiempo y la medición respecto al marco de referencia. Todo movimiento puede representarse y estudiarse mediante gráficas	Ambas respuestas están correctas porque todo depende del observador.	Para dar cuenta del movimiento se requiere establecer un punto de referencia que permita brindar información respecto a lo que se observa y establecer un nexo entre un objeto y otro; además se debe contar con un elemento que permita dar a conocer el lugar en donde se encuentra dicho observador.
Estudiante 24	No podemos dar cuenta exactamente del movimiento porque la nave esta ubicada en un lugar donde todo es igual (espacio) y el movimiento de la nave no determina exactamente la dirección en la cual se dirige las naves .	Se puede decir que los elementos con los cuales uno puede dar entender el movimiento de la nave es su motor y su respectiva aceleración aunque no está claro una visión sobre el lugar donde se encuentran y su destino , elementos como un reloj y las medidas necesarias para calcular el movimiento.	en este caso la nave 1 puede pensar que no se puede estar moviendo pero la otra nave puede pensar que si hace un respectivo movimiento y también la nave 2 puede pensar lo mismo	los elementos que dan cuenta de nuestra experiencia del movimiento en mi primer punto de vista es el punto de referencia donde se encuentra el cuerpo (observación) y también el tipo de aceleración que tiene ya que esto hace parte para identificar y guiarnos mas por la velocidad y su respectiva dirección el tiempo también es un papel importante para determinar el tipo de movimiento .
Estudiante 25	no, ya que no hay un dato específico que nos hable de la aceleración y velocidad y espacio-tiempo	se debe tener en cuenta la aceleración, velocidad, la medida de un marco de referencia esto junto al tiempo, también tener claro un sistema de referencia, otros elementos serian el reloj, una estrella o un planeta específico.	ambos casos son correctos por que todo depende del observador	nuestra perspectiva, la observación, la velocidad, un marco de referencia y un espacio-tiempo, un reloj y un elemento que permita medir la distancia como un metro o regla.
Estudiante 26	No podemos saberlo, ya que no tenemos los datos que nos permitan identificar que allí hay algún movimiento. Y como consecuencia de ello no podemos saber en qué dirección lo hace.	Como tripulante de la nave espacial Axiom requerimos tener claro un sistema de referencia (Observador), para que a partir de el podamos establecer una posición, un espacio-tiempo, la velocidad o aceleración en función de ese tiempo y la medición de distancias.	Las dos son correctas ya que depende del observador.	En primer lugar debemos tener claro un punto de referencia, luego conocer la distancia y tiempo que hay entre este, una posibilidad que tenemos para conocer esto es el reloj y la regla, además otro de los factores que nos permiten saber si hay movimiento son nuestros sentidos ya que a través de nuestra vista podemos percibir si nos estamos

				moviendo, a través de la escucha podemos percibir si alguien se acerca o se aleja por el sonido que emite con sus zapatos y el piso, etc...
Estudiante 27	Si podría haber movimiento ya que estando en el espacio pues la nave estaría levitando y tendría un movimiento en cierto sentido, no estaría totalmente quieta, pero estando como tripulante no se podría esclarecer ya que no habría cómo un marco de referencia y no se sabría si se mueven las cosas externas o la nave	Tener Un punto de referencia para saber si nos estamos alejando o no Y la unidad de medida que sería el tiempo Y cierta velocidad que podría ser constante	Si yo estoy en la nave de axiom 1 pensaría que la nave de axiom 2 es la que se está acercando Y si estoy en la nave axiom 2 pensaría que la nave axiom 1 es la que se está acercando	El punto de referencia es una de las cosas que nos deja esclarecer si un objeto está en movimiento o no, algo que sabemos que siempre está ahí quieto, como la tienda de la esquina un parque y demás cosas

Anexo 4. Presentación momento número dos de la estrategia didáctica en el aula virtual.

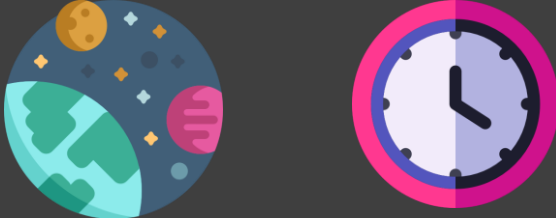
Diapositiva 1

¿CÓMO PENSAMOS EL ESPACIO Y EL TIEMPO?

Un dialogo entre mis ideas y la historia.

Diapositiva 2

NUESTRA VIVENCIA DEL ESPACIO Y EL TIEMPO

The illustration consists of two circular icons. The left icon depicts a stylized Earth with green continents and blue oceans, surrounded by a dark blue space filled with yellow stars, a brown planet, and a pink planet. The right icon is a clock face with a white center, black hands, and a pink and purple border.

Diapositiva 3

VIVENCIA CULTURAL DEL TIEMPO

An illustration of a golden hourglass with a wooden frame, showing the flow of time.

- FACTORES SOCIALES
- CUESTIONES PRÁCTICAS.
- FORMAS DE ENTENDER LA REALIDAD

Diapositiva 4


VIVENCIA CULTURAL DEL ESPACIO



- COMPRENSIÓN ESPACIAL
- ESCUELAS QUE ESTUDIAN EL ESPACIO
- ESPACIO COMO OBJETO DE ESTUDIO




Diapositiva 5

¿QUÉ DICEN LOS PRIMEROS INTELLECTUALES ACERCA DEL ESPACIO Y EL TIEMPO?




Diapositiva 6

La noción de espacio como objeto de investigación en la antigua Grecia.

Escuela pitagórica	Escuela atomista	Escuela aristotélica
<ul style="list-style-type: none"> • Espacio pensando en los números. • Realidad del espacio condiciona la existencia de los objetos 	<ul style="list-style-type: none"> • Espacio como vacío. • Espacio infinito. • Visión del espacio según Demócrito • Visión del espacio según Lucrecio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Espacio como lugar. • El movimiento natural y los lugares • La dirección del espacio. • Espacio como entidad matemática.
		

Diapositiva 7


Sobre el tiempo: los argumentos de Aristóteles.



- El tiempo como movimiento.
- Visión lineal del tiempo.
- Tiempo como transformación
- San Agustín y la emancipación de la teoría aristotélica del tiempo
- El tiempo como duración (el número del cambio)

Diapositiva 8

LAS IDEAS REVOLUCIONARIAS DE NEWTON



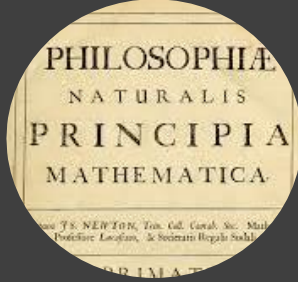
Diapositiva 9

Nos ha parecido oportuno explicar hasta aquí los términos menos conocidos y el sentido en que se han de tomar en el futuro. En cuanto al tiempo, espacio, lugar y movimiento, son de sobra conocidos para todos. Hay que señalar, sin embargo, que el vulgo no concibe estas magnitudes si no es con respecto a lo sensible. De ello se originan ciertos prejuicios para cuya destrucción conviene que las distingamos en absolutas y relativas, verdaderas y aparentes, matemáticas y vulgares.

Isaac Newton - Principia

Diapositiva 10

Acercas del espacio en Newton



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 el relativo son el mismo en especie y en magnitud, pero no permanecen siempre el mismo numéricamente

Diapositiva 11

Acercas del Tiempo en Newton



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 (sea la medida igual o desigual) y de la que el vulgo usa en lugar del verdadero tiempo; así, la hora, el día, el mes, el año.

Diapositiva 12

Acercas del espacio y el tiempo como propiedades de Dios.

Newton considera el espacio y la duración como dos seres cuya existencia se deduce necesariamente del mismo Dios; como el Ser infinito es omnipresente, entonces todo lugar existe; el Ser eterno dura toda la eternidad.

«...Afirma que el espacio es una consecuencia necesaria de la existencia de DIOS. Propiamente hablando, DIOS no está ni en el espacio, ni en un lugar; pero estando necesariamente en todas partes, DIOS constituye por ello mismo el espacio inmenso y el lugar. Igualmente, la duración, la permanencia eterna, es una consecuencia indispensable de la existencia de DIOS. Él no está ni en la duración infinita, ni en un tiempo, sino que existe eternamente; constituye, de ese modo, la eternidad y el tiempo...»

Anexo 5. Respuestas de los estudiantes al momento dos de la estrategia didáctica.

Estudiantes	¿Qué significado tiene el tiempo para ti? Trata de definir esta noción desde tu experiencia.	¿Qué significado tiene el espacio para ti? Trata de definir esta noción desde tu experiencia.
Estudiante 1	El tiempo tiene como significado para mí como nos ubicamos y organizamos en la tierra por medio de dispositivos como el reloj.	El significado del espacio para mí es en donde en cada instante estamos instalados y este permite organizarnos y resulta indispensable.
Estudiante 2	El tiempo es la clara muestra de nuestra existencia en el espacio. Tal vez se relacione con pasado, presente y futuro pero solo son la muestra de recuerdos, vivencias e imaginación.	El espacio es una muestra de lo infinito, es más que un lugar.
Estudiante 3	El tiempo es una noción en la que se miden las cosas a partir de como avanzan	Es el lugar físico en el que habitamos
Estudiante 4	el tiempo es la marca de diferentes acontecimientos, esta se extiende a los diferentes ámbitos históricos, investigativos, físicos, etc .Es así como esta se encuentra, presente en la mayoría de la historia de la humanidad.	El espacio es aquello en lo que hay un ausencia de objetos o materia, en donde solo se encuentra la nada y el aire ya que de no encontrarse el aire hablaríamos de vacío
Estudiante 5	Para mí, el tiempo es una magnitud física que sirve para separar sucesos, aquí está el pasado, presente y futuro	Es un medio físico en el cual se encuentran varios cuerpos (no sé muy bien sobre esto), este tiene relación con el tiempo
Estudiante 6	El tiempo es un magnitud que nos permite contar la duración de acontecimientos y ordenarlos en secuencias (pasado, presente y futuro)	Es un lugar donde se encuentran masas y movimientos
Estudiante 7	Es un lapso de tiempo donde se utiliza para realizar nuestras actividades, donde en el transcurre un movimiento en relación a lo precedido y a lo sucedido, donde se toma como realizado todas las actividades hechas en el pasado, donde todo lo que hemos hecho en el pasado queda hay marcado, por lo tanto se vuelve una relación al alma	es una forma real y objetiva de existencia de la materia en movimiento, de todo lo que en algún momento nos rodea, teniendo en cuenta que el espacio es el que hace la realidad y no un mundo imaginario desarrollado por nuestro cerebro, en este se expresa la coexistencia de las cosas y la distancia entre ellas, su extensión y el orden en que están situadas unas respecto de otras.
Estudiante 8	Es una noción que relaciono generalmente con la necesidad de cambiar en varios aspectos de mi ser cada cierto lapso de mi vida, con el objetivo de aprender y madurar.	El espacio es un lugar vacío en el que puede haber incidencia de objetos que interactúen con el mismo.
Estudiante 9	El tiempo para mí, es una unidad de medida, así mismo es lo que hace que sucedan hechos, acciones y acontecimientos.	El espacio es todo aquello que define el universo desde un punto de vista de los aspectos físicos que lo componen
Estudiante 10	El tiempo es un cambio que surge a partir de una secuencia en especial, y de igual manera es una magnitud física que permite	El espacio es una distancia entre un lugar a otro, usando una medida o algo para identificar la extensión entre estos lugares

	encontrar o hallar muchas magnitudes	
Estudiante 11	Es una magnitud horaria que mide acontecimientos	Es un lugar donde suceden acontecimientos
Estudiante 12	El tiempo es un periodo determinado durante el que se realiza una acción, ya sean minutos, horas, días, años, etc. El tiempo es una magnitud física, es el que la separación de estas acciones	Es un lugar que debe ser visible, debe ser físico. Un lugar donde están los objetos, personas, etc.
Estudiante 13	Es una magnitud que se mide, algo que no se puede controlar y que nos regimos y tememos de él	El espacio es todo, pertenecemos a él como una muy pequeña porción de lo que realmente es
Estudiante 14	El tiempo para mi es una unidad variable con la cual se pueden definir actos importantes en un lugar específico	El espacio es un lugar en el cual se pueden ubicar diferentes objetos o acontecimientos específicos
Estudiante 15	Para mi el tiempo es la medida de sucesos o momentos de experiencias que se viven.	Para mi el espacio es el lugar donde estemos ubicados en un momento exacto.
Estudiante 16	El tiempo para mi es relativo, porque a pesar de que vayamos envejeciendo las cosas no cambian al mismo ritmo y sencillamente morimos en un mundo con leves cambios.	Para mi el espacio es un medio físico en el que nos movemos constantemente viéndolo desde la tierra, porque hay diferentes tipos de espacio, para mi.
Estudiante 17	el significado que yo tengo del tiempo son momentos ya sean cortos o a largo plazo donde uno a media que va pasando se ejecutan ciertos movimientos.	es el lugar donde se realizan diversas actividades, o el lugar donde uno se encuentra.
Estudiante 18	El tiempo pues es aquello que nos da la posibilidad de movernos en una dimensión y también lo podría entender y relacionar con lo cuantitativo con respecto a la hora los años y demás	Y el espacio es eso que permite situar lo que sucede en un lugar, es decir es lo que permite que pase un acontecimiento en un lugar
Estudiante 19	El tiempo pues es aquello que nos da la posibilidad de movernos en una dimensión y también lo podría entender y relacionar con lo cuantitativo con respecto a la hora los años y demás	Y el espacio es eso que permite situar lo que sucede en un lugar, es decir es lo que permite que pase un acontecimiento en un lugar
Estudiante 21	Es la unidad de medida, y que se refiere como a los relojes, cronómetros.	Son los momentos en lo que transcurre el tiempo
Estudiante 22	Para el tiempo es la magnitud que no se detiene ni tiene un fin, desde mi experiencia el tiempo me ha permitido ordenar, estableciendo relaciones entre el pasado, el presente y el futuro; es algo que no podemos sentir pero gracias a ciertos artefactos podemos llegar a medirlo y ver el cambio en ciertos fenómenos.	Espacio es un lugar en el cual hay objetos y cada uno tiene un fin específico, también lo observó como una extensión de materia, el espacio para mí tiene muchos significados puede ser la distancia entre una cosa u otra, o el transcurso de tiempo entre un evento y otro, o también puede ser el espacio a todo el universo que está por fuera de nuestro planeta

Estudiante 23	Es una unidad de medida, algo relativa en mi opinión ya que esta se encuentra en un cambio constante	es el lugar donde se da a notar los objetos en movimiento y que tiene ciertas características.
Estudiante 24	Para mí el tiempo es uno de los aspectos más importantes y me atrevería a decir que el más valioso ya que a partir de este se toman muchas ediciones de nuestra vida, se realizan muchas cosas o incluso no por que el tiempo es lo único que no podemos recuperar	Para mí el espacio es todo lo que me rodea y me permite desenvolverme ante la sociedad
Estudiante 25	El tiempo para mí tiene que ver con el estado de movimiento del observador ya que a partir de él se podrá calcular cuánto tiempo hay entre un objeto y el otro (interacción). Por otro lado, es clave para mí afirmar que este es relativo.	Mi noción de acuerdo al espacio es la de aquellos elementos que lo conforman que ocupan una posición, esto como lo dije anteriormente también es relativo.
Estudiante 26	Es un concepto con el cual podemos dar cuenta de sucesos históricos o personales.	El espacio le da lugar a los objetos concretos que podemos percibir a través de los sentidos.
Estudiante 27	Para mí el tiempo es la manera para identificar la noción de lugar, acontecimiento y poder ordenar los periodos que se llevan a cabo	Para mí el espacio es un medio en el cual se encuentran los cuerpos, también pienso que es un lugar donde se encuentra el origen de la vida que conocemos lleno de materia ,partículas entre otras

Anexo 6. Presentación momento numero tres de la estrategia didáctica en el aula virtual.

Diapositiva 1

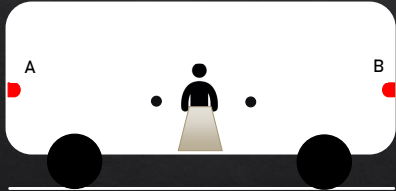
**ALGO ME PARECIA SOSPECHOSO
EN EL TIEMPO...**

LA TEORIA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD – ALBERT EINSTEIN.



Diapositiva 2

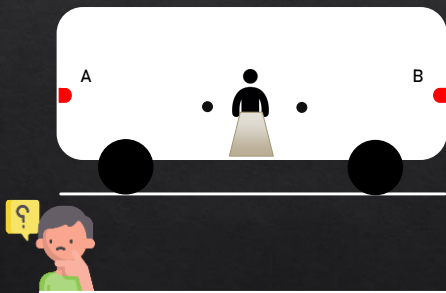
SITUACIÓN No 1.



- ¿QUÉ SE ENTIENDEN POR LA EXPRESIÓN «AL MISMO TIEMPO» SEGÚN LA SITUACIÓN QUE EXPERIMENTA EL PASAJERO?
- SI EL PASAJERO Y LA MAQUINA SE ENCUENTRA EN EL PUNTO MEDIO DEL VAGÓN ¿CUÁL LUZ SE ENCENDERÁ PRIMERO?
- SI LAS PELOTAS SALEN AL MISMO TIEMPO, ¿PODEMOS CONCLUIR QUE LAS PELOTAS LLEGAN AL MISMO TIEMPO A LAS PAREDES?

Diapositiva 3

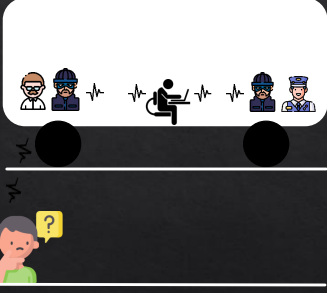
SITUACIÓN No 1.1



- ¿QUÉ PUEDE DECIR UN OBSERVADOR EXTERNO ANTE LA SITUACIÓN QUE SE DA EN EL VAGÓN DE TREN? ¿PARA ÉL CUÁL LUZ VA A ENCENDERSE PRIMERO «A O B»?

Diapositiva 4

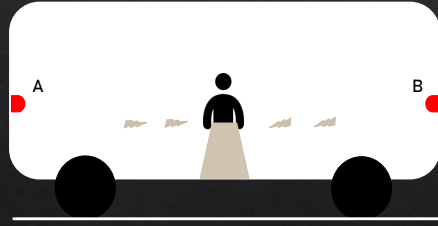
SITUACIÓN No 2.



- ¿QUIÉN DE LOS DOS ESTARÍA EN LO CORRECTO?
¿EL JEFE DE LA ESTACIÓN O EL ANCIANO?
- ¿HABRÍA POSIBILIDADES DE PENSAR QUE AMBOS ESTÁN EN LO CORRECTO? Y SI ES ASÍ ¿POR QUÉ?

Diapositiva 5

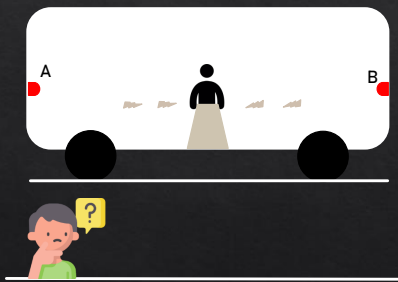
SITUACIÓN No 3.



- PARA NUESTRO OBSERVADOR EN EL TREN ¿SE ENCENDERÁ A O SE ENCENDERÁ B? ¿POR QUÉ?
- ¿PODEMOS PENSAR QUE SE HAN ENCENDIDO SIMULTANEAMENTE?

Diapositiva 6

SITUACIÓN No 3.1



- ¿PODEMOS ASEGURAR QUE NUESTRO OBSERVADOR EXTERNO (FUERA DEL TREN) OBSERVA LA SITUACIÓN DE MANERA SIMILAR AL OBSERVADOR INTERNO (TREN)? ¿POR QUÉ?

Diapositiva 7

Ann. Phys. Leipzig 14. Supplementum, 1905, 204-205; A. Einstein, Annalen der Physik, Band 17, 1905

891

**3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper;
von A. Einstein.**


Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht annähernd scheitern, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissen Energiewerten, welches an dem Orte, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welche an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden im Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Vorzeichen Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.

Beispiele ähnlicher Art, sowie die mühseligen Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium“ zu konstatieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität“ genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche

Titulo original: Zur Elektrodynamik Bewegter Koper

Titulo español: Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento

Publicación: 1905 – Revista de Física



Diapositiva 8

EN BUSCA DE UNA TEORÍA MAS GENERAL. EL PROBLEMA DE NEWTON.

Diapositiva 9

MECANICISMO NEWTONIANO EN EL SIGLO XIX

ESPACIO ABSOLUTO

TIEMPO ABSOLUTO

VELOCIDADES RELATIVAS.



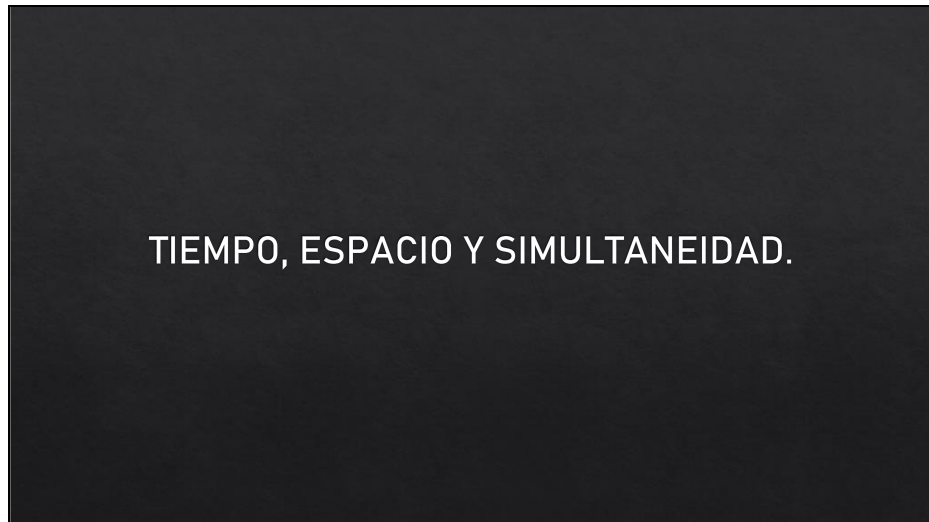
PRINCIPIOS METAFÍSICOS

NO INTEGRA TODAS LAS TEORÍAS FÍSICAS

EN BUSCA DE UNA FÍSICA MAS 'REAL'

SIMULTANEIDAD ABSOLUTA

Diapositiva 10



Diapositiva 11

POSTULADOS DE LA RELATIVIDAD.

Primer postulado

«...Más bien debemos suponer que para todos los sistemas de coordenadas, en los cuales son válidas las ecuaciones mecánicas, también tienen validez las mismas leyes electrodinámicas y ópticas, tal como ya se ha demostrado para las magnitudes de primer orden»

Segundo postulado

«...Dicha hipótesis adicional sostiene que la luz en el espacio vacío siempre se propaga con cierta velocidad V que no depende del estado de movimiento del emisor»

Diapositiva 12

DATOS:

- DISTANCIA DE LA TIERRA A LA LUNA: 380.000 KM
- VELOCIDAD DE LA LUZ: 300.000.000 M/S
- TIEMPO QUE TARDA LA LUZ EN IR DE LA TIERRA A LA LUNA: 1,28 S

Diapositiva 13

LA TEORIA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD

ESPACIO RELATIVO



COVARIANCIA EN LAS LEYES FÍSICAS

TIEMPO RELATIVO

INTEGRA TODAS LAS TEORÍAS FÍSICAS

SIMULTANEIDAD RELATIVA

VELOCIDAD ABSOLUTA

Diapositiva 14

CONCLUSIONES

La imposibilidad de diferenciar entre el reposo y el movimiento rectilíneo uniforme

La luz es el único absoluto en el universo. Fuente de información.

Primer paradigma: Noción absoluta de tiempo y espacio.

La luz es un valor constante e inmutable.

Tiempo universal por lo tanto asumimos los eventos simultáneos.

El punto de inflexión de la mecánica newtoniana y la TER esta en la noción de simultaneidad.

Anexo 8. Guía de trabajo para el desarrollo del momento tres de la estrategia didáctica.

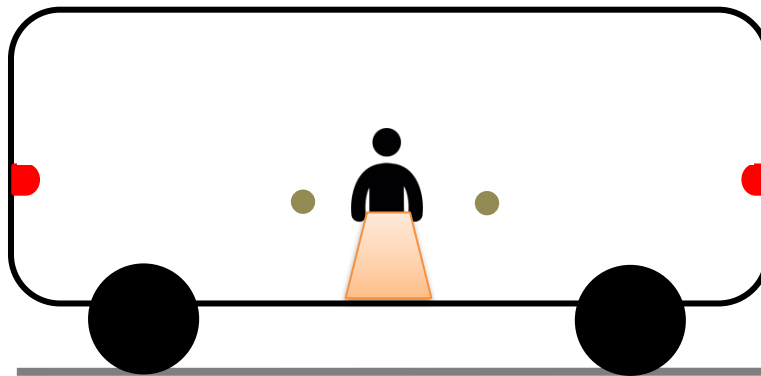
ALGO EN EL TIEMPO ME PARECÍA SOSPECHOSO... LA RELATIVIDAD ESPECIAL.

SITUACIÓN No 1.

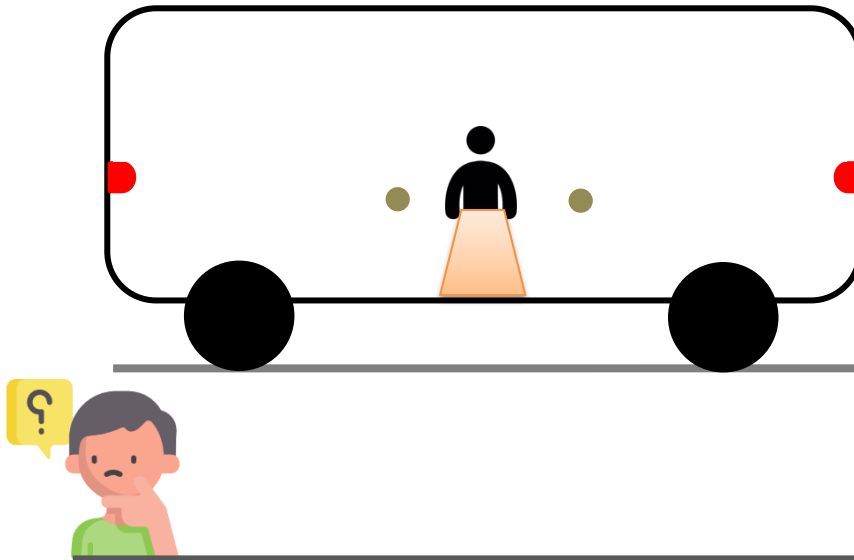
En el vagón de un tren en movimiento hay cargada una máquina la cual se encuentra en el punto medio del mismo. La máquina cuenta con un mecanismo que le permite lanzar pelotas al mismo tiempo, en la misma dirección pero en sentido contrario, así una vez estas salen de la maquina e impactan unas luces (A o B) en los extremos de las paredes se encienden.

Al interior del vagón un pasajero decide accionar la máquina y relatar su experiencia. Como pasajeros del tren que podemos responder a las siguientes cuestiones:

- Qué queremos decir con la expresión «...decide accionar la maquina y lanzar las pelotas al mismo tiempo»
- Si el pasajero y la maquina se encuentra en el punto medio del vagón, y teniendo en cuenta la situación planteada, ¿Cuál luz se encenderá primero?
- Si las pelotas salen al mismo tiempo, podemos concluir que las pelotas llegan al mismo tiempo



Imagina ahora a un observador externo (Ver figura 2), el cual se encuentra en tierra observando la situación que se presenta, el observa al pasajero del tren accionar la máquina, teniendo en cuenta que la maquina lanza las pelotas al mismo tiempo. ¿Qué puede decir el observador externo ante la situación que se da en el vagón de tren? ¿Para él cual luz va a encenderse primero?



SITUACIÓN No 2.

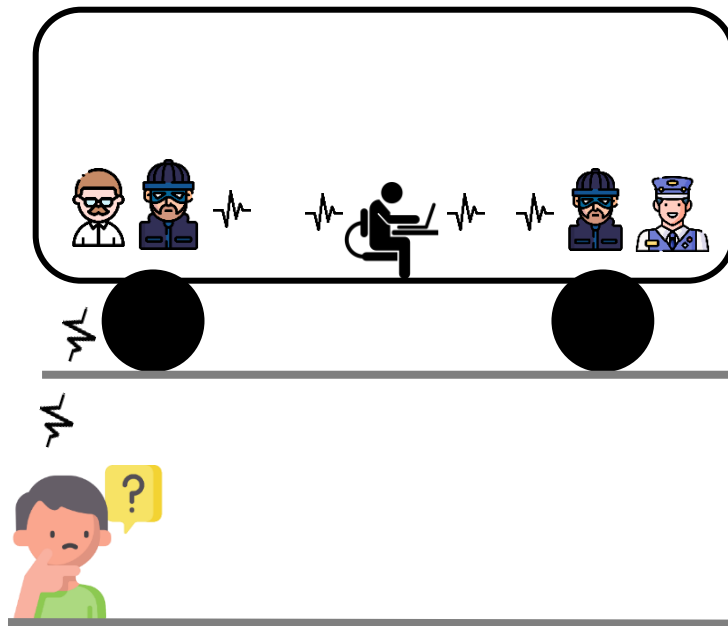
¿A QUIEN PERTENECE LA HERENCIA?

Agustín y Jerónimo trabajan en un tren, el primero es el guarda y el segundo es el maquinista; un día, en un trayecto normal dos asaltadores se suben al tren en donde están Jerónimo y Agustín. Uno de ellos se encuentra en la parte trasera y el otro en la parte delantera del tren. Estos dos delincuentes se ponen de acuerdo para acabar con la vida de ambos sujetos al mismo tiempo. Un anciano, quien se encuentra sentado en el punto medio del vagón escucha simultáneamente los disparos que acabaron con la vida de Agustín y Jerónimo.

Pero un jefe de estación que se encuentra a mitad de camino escucha primero el disparo que mató al guarda (velocidad finita del sonido), quien, como se mencionó anteriormente, estaba en la parte trasera. Un millonario, tío de Agustín y Jerónimo en su testamento decidió dejar su herencia a Agustín, pero, si el muere primero la herencia será para Jerónimo. Hay de por medio gruesas sumas de dinero en el problema de quien ha muerto primero.

El caso llega a la corte y los abogados de ambas partes, educados en Oxford, se ponen de acuerdo en que el anciano o el jefe de la estación deben de estar equivocados. En este sentido

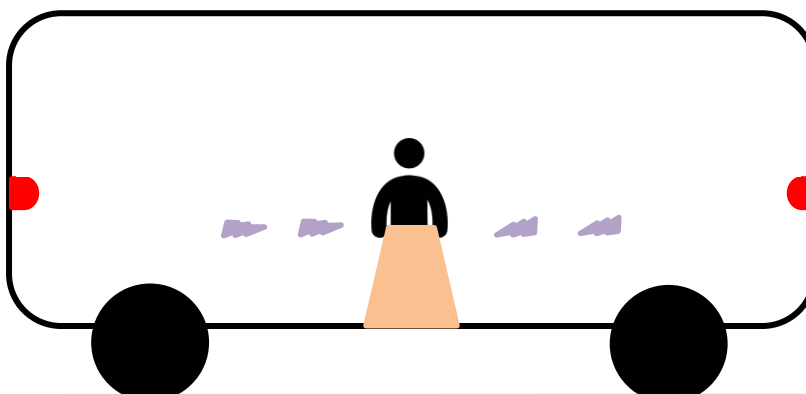
a) ¿Quién de los dos estaría en lo correcto? ¿El jefe de la estación o el anciano? **b)** ¿Habría posibilidades de pensar que ambos están en lo correcto? y si es así ¿Por qué?



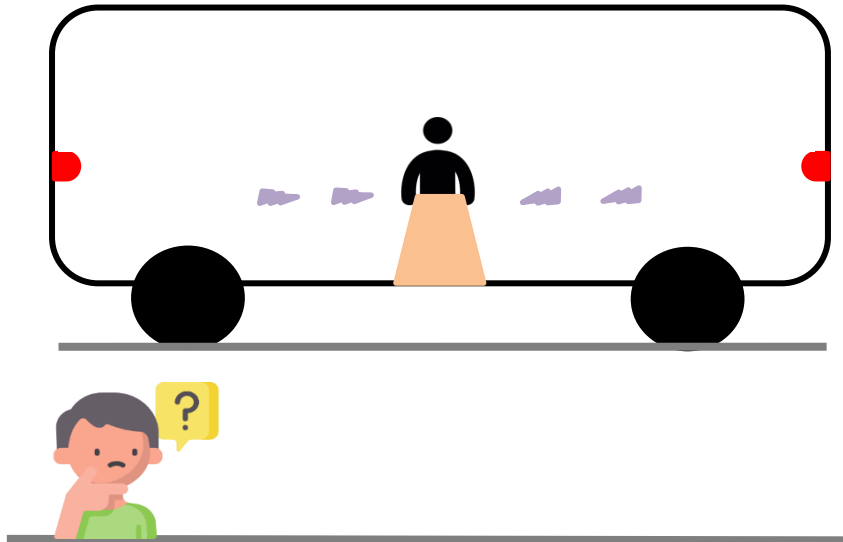
SITUACION No 3.

EINSTEIN: UN EXPERIMENTO CON RAYOS DE LUZ

Pensemos en la situación que nos plantea Albert Einstein... Tomando la situación número uno, nuestro pasajero ahora se da cuenta que puede invertir el mecanismo de la maquina lanza pelotas, y ahora, en vez de arrojar pelotas de plástico, se da cuenta que puede arrojar rayos de luz, de esta manera, decide lanzar al mismo tiempo los rayos de luz. Teniendo en cuenta el segundo postulado de la relatividad, el cual plantea que la constancia de la velocidad de la luz, que nos dice nuestro pasajero sobre el impacto en las paredes del vagón. ¿Se encenderá A o se encenderá B? ¿Por qué?



Ahora, que nos puede decir un observado en tierra en relación con el fenómeno que ocurre en el tren ¿Qué luz se encenderá primero?



Anexo 9. Respuestas de los estudiantes a las situaciones planteadas en el tercer momento de la estrategia didáctica.

Situación No. 1.

Estudiante	Pregunta 1	Pregunta 2 y 3	Pregunta 4.
Estudiante 1	al decir al mismo tiempo considero que las pelotas salen desde su posición en el mismo tiempo	creería que la luces se encienden por igual como lo dice la pregunta salen al tiempo	NP
Estudiante 2	para mi significa que las pelotas salen juntas, es decir yo defino un instante y las pelotas salen disparadas juntas	dependería de la fuerza aplicada, pero si es la misma se encendrían las dos luces	NP
Estudiante 3	seria algo asi como que salen juntas pero en direcciones opuestas en un mismo instante	si salen al mismo tiempo yo creería que el tiempo es el mismo para las pelotas en alcanzar la pared asi las luces se prenderían al mismo tiempo	NP
Estudiante 4	pues yo creo que al hablar de el mismo tiempo las pelotas salen con igual velocidad llegando así a las paredes igual creería yo	Si llegarían juntas porque están saliendo con la misma velocidad llegando igual como lo mencione a la pared, se prenden ambas	depende la velocidad del tren, así sabría cual
Estudiante 5	Al hablar de al mismo tiempo creo que se refiere a que puedo ver como en un instante salen a su vez las pelotas	No estoy seguro, pero creo que depende la fuerza y la velocidad o aceleración	NP

Estudiante 6			no podría saber realmente porque si el tren pasa muy rápido no sabría
Estudiante 7	las pelotas salen del mismo modo, podría verlas al mismo tiempo, es decir en el mismo instante	Desde mi punto de vista si ya que las pelotas están saliendo al mismo tiempo a la misma distancia se prenden ambas	NP
Estudiante 8	salen igual al tiempo con la misma fuerza para que así puedan llegar a la pared las dos	considero que hay tener en cuenta la velocidad por que si una tiene mas que la otra llegaría primero enciendose primero esa luz	NP
Estudiante 9	Pues que en el mismo tiempo puede ser una hora igual están saliendo las pelotas pero en direcciones opuestas	Si siempre y cuando este a la mitad la maquina si se encienden porque según la situación salen al tiempo	NP
Estudiante 10	al mismo tiempo lo relaciono con algo que sale a un mismo instante pero no estoy seguro	NP	NP
Estudiante 11	la expresión al mismo tiempo significa que las dos pelotas chocaran en el mismo instante con la pared, ya que ambas han salido a la vez	Ambas se encenderán porque como lo mencione anteriormente han salido al mismo tiempo	Como observador podría decir que igual
Estudiante 12	Yo podría decir que al mismo tiempo se relaciona con la acción de ver como sale a su	No se, la verdad creo que influyen factores como la velocidad aunque por la distancia	NP

	vez algo, en este caso pelotas	podrían encenderse al mismo tiempo	
Estudiante 13	Significa que salen de la misma forma podría decir que la palabra sería en un mismo instante	para mi las luces se prenden al tiempo porque ninguna pelota sale después de la otra sino que salen al tiempo	NP
Estudiante 14	Yo considero que es una expresión para decir que ocurre de forma similar pero no sé	No creo que se pueda saber cual se prende primero no se la velocidad	NP
Estudiante 15	En este caso quiere decir que las pelotas salen a su vez	Al tiempo porque están a la misma distancia y como lo dice el problema salen al mismo tiempo	NP
Estudiante 16	pues yo diría que al decir al mismo tiempo nos referimos a que salen en conjunto, como de forma igual de la máquina, es como si las dos salieran primero por diferentes lados	Como han salido por diferentes lados, pero como lo plantea el ejercicio la maquina esta en el punto medio llegan igual	No se, sería difícil porque creo que no alcanzaría a ver que sucede
Estudiante 17	según el problema planteado es que la pelotas en un instante fijo salen no una primero que otra porque eso ya no sería al mismo tiempo	deberíamos darle la misma fuerza a las pelotas porque puede que una llegue primero que la otra en ese caso una luz se enciende primero	NP
Estudiante 18	Hace referencia a una especie de instante similar para las pelotas denotado por el tiempo	NP	NP

Estudiante 19	Pienso que la situación se refiere al tiempo de salida de las pelotas que en este caso al mismo tiempo es igual o mismo instante	Si el tiempo de salida es el mismo creo que si además la distancia es la misma se encienden igual para el observador	debería moverse muy lento el tren para poder ver la pelotas y saber cual se enciende primero o si ambas
Estudiante 20	Estaría relacionado con una especie de instante similar para las dos pelotas cuando salen	No estoy muy seguro, creo que no, depende de factores como la fuerza	NP
Estudiante 21	Según el planteamiento del problema quiere decir que ninguna pelota sale primero que la otra sino que salen igual de forma similar	De cierta forma se encenderían al tiempo porque están saliendo al mismo tiempo	NP

Situación No. 2. ¿A quien le pertenece la herencia?

Estudiante	Pregunta 1	Pregunta 2
Estudiante 1	Es similar a la situación anterior en este caso escuchado el sonido el del vagón igual, afuera no se	NP
Estudiante 2	para el caso de la persona situada en el punto medio es igual que el caso de las pelotas si viajan a la misma velocidad el sonido hacia la persona este escucha el sonido al mismo tiempo	NP
Estudiante 3	Esta situación se compara con la de las pelotas en este caso para el de adentro seria igual y para el de afuera creo que tambien	creo que no, debe ser simultaneo en ambos
Estudiante 4	si salen igual y tiene la misma velocidad el sonido pues los escucha simultáneamente	Si, por que la velocidad es constante

Estudiante 5	Pues pasa lo anterior si la velocidad es consante el del medio lo escucha simultaneo y para el del exterior no se, pero pensaría que si	NP
Estudiante 6	Si porque al igual que la situación anterior como la distancia es la misma y la velocidad escucha los disparos al tiempo	NP
Estudiante 7	Solo el que esta en el punto medio escucharía los disparos simultáneamente, es igual que las pelotas	NP
Estudiante 8	pasaría lo mismo que en el caso anterior pues si los escucha al mismo tiempo debería escucharlos afuera también creo yo	NP
Estudiante 9	Creo que el del medio escucharía primero ambos, afuera no se	Si porque el sonido viajaría igual
Estudiante 10	El pasajero situado en el punto medio escucharía los disparos simultáneos, el que se encuentra afuera nose	Depende de la velocidad
Estudiante 11	Es similar a la máquina de pelotas en este caso al estar en el punto medio esucharia simultáneamente los disparos	NP
Estudiante 12	Creo que ambos escucharían similar ya que la velocidad viaja igual	Seria simultaneo

Situación No. 3. Einstein: un experimento con rayos de luz.

Estudiante	Pregunta 1	Pregunta 2
Estudiante 1	Es de la misma forma solo que ahora con rayos de luz, llegan igual se encienden simultáneamente	NP

Estudiante 2	creo que es como el caso de las pelotas, solo que tenemos luz entonces podría decir que llegan al mismo tiempo	NP
Estudiante 3	En este caso se encienden ambas por que los rayos viajan a la misma velocidad y la distancia es la misma	NP
Estudiante 4	si se asume que salen con la misma velocidad y al mismo tiempo si llegan igual es similar a la situación primera	como se menciono pues si los tiempos son iguales salen y llegan al tiempo, así no este dentro del tren
Estudiante 5	teniendo la misma velocidad y que salen al mismo instante se encienden simultaneamente	NP
Estudiante 6	es claro que se enciende simultaneamente, tiene la misma velocidad los rayos aunque opuestos	NP
Estudiante 7	Al igual que las pelotas y el sonido, se encienden igual porque tienen la misma velocidad los rayos	NP
Estudiante 8	los rayos salen igual entonces se encienden simultaneamente	NP