



**Formación en ciencias como estímulo al desarrollo de habilidades de pensamiento crítico:
la teoría de la relatividad en lo cotidiano**

Dina Vanessa Ascanio Maestre

Trabajo de grado presentado para optar al título de Licenciada en Matemáticas y Física

Asesor
Yirsen Aguilar Mosquera Magíster (MSc) en Enseñanza de las ciencias

Universidad de Antioquia
Facultad de Educación
Licenciatura en Matemáticas y Física
Medellín, Antioquia, Colombia

2021

Cita	(Ascanio, 2021)
Referencia	Ascanio, D. (2021). Formación en ciencias como estímulo al desarrollo de habilidades de pensamiento crítico: la teoría de la relatividad en lo cotidiano. [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Asesor de prácticas y de trabajo de grado: Yirsén Aguilar Mosquera



Centro de Documentación Educación

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda

Decano: Wilson Bolívar Buriticá

Jefe departamento: Juan David Gómez González

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Agradecimientos

Gracias a aquellos que han acompañado este proceso de investigación. A mi maestro Yirsen, gracias por motivarme a reflexionar sobre lo que significa enseñar ciencias hoy y por su apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo.

A los participantes, gracias por su valioso aporte a esta investigación. A mi familia, gracias por su apoyo incondicional. A Helen, gracias por su disposición siempre.

*“Pensar la ciencia pasa a ser posible y se descubre
que producir conocimiento empieza
con un sencillo acto común y posible para todos:
pensar.”*

(Pessoa y Castro, 1992, p. 293)

Tabla de contenido

Resumen	9
Introducción	11
Capítulo uno. Contextualización	12
1.1 Planteamiento del problema	12
1.2 Objetivos.....	16
Capítulo dos. Marco teórico	17
2.1 Una visión cultural de ciencia	17
2.1.1 Análisis de aspectos de la NDC como eje transversal de la formación en ciencias	18
2.1.2 La necesidad de un <i>update</i> de la formación en ciencias	20
2.2 La teoría de la relatividad	21
2.2.1 Aspectos de la NDC en el desarrollo de la TR	21
2.2.2 La geometría de Minkowski: un aporte a la consolidación de la TR	24
2.2.3 La TR en lo cotidiano	29
2.3 El desarrollo de habilidades de pensamiento crítico como objetivo de la formación en ciencias	30
2.3.1 Aspectos de la NDC en la TR y el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico.....	32
Capítulo tres. Metodología	33
3.1 Enfoque y método.....	33
3.2 Contexto de investigación.....	34
3.3 Casos y criterios de selección	35
3.4 Consideraciones éticas.....	36
3.5 Recolección de la información	36
3.5.1 Acerca de los instrumentos	36
3.5.2 Aplicación de los instrumentos.....	37
3.6 Sistematización y análisis	38
Capítulo cuatro. Hallazgos	40
4.1 Principios de la TR en lo cotidiano: el movimiento y el reposo son relativos	40

4.1.1 El movimiento y el reposo en el espacio-tiempo	42
4.1.2 El sistema de referencia y el fenómeno	43
4.2 Visión cultural de la ciencia para favorecer el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico: el caso de la TR	49
4.3 Aspectos de la NDC en la formación en ciencias: la historia como vínculo entre ciencia y sociedad en el caso de la TR.....	52
Capítulo cinco. Implicaciones didácticas	55
5.1 Reflexiones sobre la enseñanza de la ciencia	55
5.2 Ciclo didáctico.....	57
5.2.1 Recomendaciones iniciales	57
5.2.2 Estructuración del ciclo didáctico.....	57
Capítulo seis. Conclusiones.....	62
Referencias	64
Anexos	68

Lista de tablas

Tabla 1	50
Tabla 2	54

Lista de figuras

Figura 1 Construcción geométrica de Minkowski	25
Figura 2 Diagrama de espacio-tiempo de un cuerpo en reposo en el espacio	27
Figura 3 Diagrama de espacio-tiempo de un cuerpo en movimiento uniforme	28
Figura 4 Diagrama de espacio-tiempo de un cuerpo en movimiento no uniforme	28
Figura 5 Caracterización del pensamiento crítico de Halpern	31
Figura 6 Caracterización de una situación desde otro sistema de referencia: Caso 2.....	45
Figura 7 Caracterización de una situación desde otro sistema de referencia: Caso 3.....	45
Figura 8 Caracterización de una situación desde otro sistema de referencia: Caso 4.....	46
Figura 9 Caracterización de una situación desde otro sistema de referencia: Caso 5.....	47
Figura 10 Caracterización de una situación desde otro sistema de referencia: Caso 6.....	48

Resumen

Esta investigación surge a partir de la pregunta de por qué no se enseña física moderna en las instituciones colombianas, específicamente la Teoría de la Relatividad. Esta pregunta corresponde con el objetivo que tiene la formación en ciencias desde el Ministerio de Educación Nacional, las relaciones que existen entre ciencia y sociedad y la necesidad de actualizar los contenidos de ciencia que se llevan a las aulas. A partir de este problema se realizó una indagación con estudiantes de grado décimo, la cual permitió concluir que los jóvenes pueden tener un acercamiento a la teoría de la relatividad sin tener formación avanzada en física. También fue posible sostener la premisa de que tener una visión cultural de la ciencia e incluir el estudio de aspectos de su naturaleza estimula el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico, además de proponer algunas actividades que podrían ser un insumo didáctico para el acercamiento a estas nuevas teorías.

Palabras clave: Formación en ciencias, naturaleza de la ciencia, pensamiento crítico, cultura, teoría de la relatividad.

Abstract

This research arises from the question of why modern physics is not taught in Colombian institutions, specifically the theory of relativity. This question corresponds to the objective of scientific education from the Ministry of National Education, the relationships that exist between science and society and the need to update the scientific content that is brought into the classroom. Based on this problem, an investigation was carried out with tenth grade students, which allowed to conclude that young people can have an approach to the theory of relativity without having advanced training in physics. It was also possible to support the premise that having a cultural vision of science and including the study of aspects of its nature stimulates the development of critical thinking skills, in addition to proposing some activities that could be a didactic input for the approach of these new theories.

Keywords: Science education, Nature of Science, Critical Thinking, Culture, Theory of relativity

Introducción

El progreso de la actividad científica y tecnológica contemporánea se basa en constructos teóricos desarrollados en los últimos años, y vivimos en un mundo dominado por estos avances; es decir que para que un sujeto pueda desenvolverse en una sociedad de la cual es miembro, necesita tener acceso a estos conocimientos científicos y tecnológicos y se evidencian así las complejas relaciones existentes entre ciencia y sociedad. Asimismo, la formación en ciencias en el contexto escolar realiza aportes importantes a la resolución de estas necesidades, lo cual nos invita también a llevar al aula contenidos de la ciencia contemporánea, es decir, nos invita a actualizar los contenidos de ciencia que se enseñan en la actualidad.

En pro de una enseñanza de las ciencias que aporte a la formación de sujetos capaces de razonar y desenvolverse en su entorno, tal como lo estipula el Ministerio de Educación nacional, se hace necesario también incluir el estudio de aspectos de la naturaleza de la ciencia, el cual permite una visión distinta de ciencia y problematiza su uso en la contemporaneidad. Así, desde esta investigación se insta a dar el paso de la física clásica enseñada por cientos de años, a la física moderna, específicamente se propone un acercamiento a la teoría de la relatividad desde la representación de situaciones cotidianas.

Estas reflexiones me invitan a indagar por la influencia que tiene el estudio de principios de la teoría de la relatividad en el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en relación con la formación en ciencias desde la representación de situaciones cotidianas, por lo cual esta investigación se estructura en seis capítulos en donde se desarrolla el contexto del problema, se reporta el rastreo de diferentes autores para construir una fundamentación teórica que sustenta la problemática; también se reporta la construcción de los instrumentos, la cual fue realizada para recoger información entre los participantes para alimentar el proceso investigativo; asimismo, el análisis de esta información se reporta en los hallazgos y fruto de ello se construyó una propuesta didáctica que recoge estos aspectos problemáticos. Finalmente puntualizo algunas consideraciones finales.

Capítulo uno. Contextualización

En este capítulo se presentan los elementos que ayudan a justificar la problemática, objeto de investigación. Igualmente, se formula el problema y los objetivos que orientan el proceso investigativo.

1.1 Planteamiento del problema

En décadas anteriores el objetivo principal de la educación en ciencias era solo familiarizar a los estudiantes con conceptos científicos (enseñanza basada en conceptos); sin embargo, diversas investigaciones sobre la formación en ciencias como las de Hodson (1993), Garritz (2006) y Gil y Vilches (2004) muestran que la ciencia tiene estrechas y complejas relaciones con lo social y, por lo tanto, esto incide y debe ser tenido en cuenta en su enseñanza. Desde este punto de vista, es necesario encaminar una enseñanza de las ciencias hacia esos vínculos sociales, partiendo del hecho de que todas las personas deberían poder acceder al conocimiento científico en un mundo que así lo demanda. Asimismo, el Ministerio de Educación Nacional de Colombia (en adelante MEN) estipula que, “en un entorno cada vez más complejo, competitivo y cambiante, formar en ciencias significa contribuir a la formación de ciudadanos y ciudadanas capaces de razonar, debatir, producir, convivir y desarrollar al máximo su potencial creativo.” (2004, p.6).

Este acceso a la formación en ciencias es conocido en occidente como *alfabetización científica*; esta expresión “trata de una metáfora[...] designa un tipo de saberes, de capacidades o de competencias que, en nuestro mundo técnico-científico, corresponderá a lo que fue la alfabetización en el siglo pasado.” (Fourez, 2005, p.15). Luego, la escuela es un espacio fundamental para la alfabetización científica. Al respecto, conviene precisar que en esta investigación haré alusión a este concepto como formación en ciencias.

De esta manera, la formación en ciencias implica, con el desarrollo científico contemporáneo en el caso particular de la física, que en las aulas se incluya temas que

involucran el manejo de ideas y conceptos propios de lo que conocemos como física moderna. Esto supone ciertas dificultades en tanto estos contenidos no están concebidos en los currículos de ciencia de las instituciones colombianas dado que aún estamos enseñando a nuestros jóvenes la ciencia de siglos anteriores.

En la física, brillantes personajes nos han dejado un ingenioso repertorio de excelentes trabajos en los cuales invirtieron gran parte de sus vidas; por ejemplo, desde la antigua Grecia hasta Galileo y Newton se hicieron importantes aportes al describir las formas en las que un cuerpo puede moverse; “el trabajo recogido por Newton en sus leyes del movimiento y su ley de gravitación universal fue de tal importancia que sirvió de guía intelectual a la ciencia durante casi doscientos años.” (Einstein, 1985, p. 65). Sin embargo, los trabajos desarrollados a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX por autores como Faraday, Maxwell, Hertz y Lorentz, mostraban las limitaciones de la teoría mecanicista para describir fenómenos electromagnéticos (Einstein, 1985). Es aquí donde Einstein recoge el trabajo que ya habían desarrollado personajes anteriores y contemporáneos a él como base para su teoría, la cual hoy conocemos como la Teoría de la Relatividad (en adelante TR), compuesta por la relatividad especial (TRE) y la relatividad general (TRG), construyendo una descripción más profunda del mundo: la TR brinda herramientas para describir la realidad de una manera más completa, haciendo que los algoritmos de la mecánica newtoniana sean una particularidad de la TR.

Este hecho ha marcado un momento importante en la historia, al punto de que hoy en día llamamos ‘física clásica’ a los trabajos propuestos por Newton y Galileo y ‘física moderna’ a los trabajos propuestos por Einstein junto con la mecánica cuántica. Es decir, **seguir enseñando en la escuela la visión mecanicista del mundo supone unos vacíos conceptuales importantes**. Además, ¿por qué no enseñar la TR, si teorías contemporáneas a ésta son muy comunes incluso en el lenguaje cotidiano? Por ejemplo, la evolución biológica de Darwin es de 1859, o los modelos atómicos actuales son los propuestos por Schrödinger y Heisenberg en 1926.

Por otro lado, es común que cuando pensamos en la relatividad de Einstein la relacionemos con fenómenos que escapan a nuestra cotidianidad: cuerpos que se mueven con velocidades cercanas a la velocidad de la luz, cuerpos masivos, agujeros negros, entre otros;

sin embargo, si analizamos alguna situación cotidiana desde la TR, notaremos que la respuesta no variaría mucho en los resultados numéricos obtenidos respecto de si analizamos la misma situación desde los postulados mecanicistas. Es aquí donde me pregunto qué sentido tiene introducir física moderna en la escuela si la física clásica logra llegar a resultados similares, es decir, la física clásica es funcional. Me interesa entonces precisar que, si bien las variaciones serían muy pequeñas en los resultados numéricos, sí habría una gran diferencia descriptiva, conceptual, analítica y matemáticamente hablando; “la teoría de la relatividad desde el punto de vista cuantitativo sólo modifica la teoría de Newton en forma mínima, pero desde el punto de vista cualitativo en cambio la modificación es profunda.” (Einstein, 1985, p. 68).

Así, la premisa es que la formación en ciencias requiere un *update*¹ de los contenidos que se llevan a la escuela. Para que este proceso se dé, considero imprescindible realizar un análisis sobre los aspectos de la Naturaleza de la Ciencia (en adelante NDC) presentes en la construcción de la TR, como la historia, epistemología, sociología, filosofía entre otros. Sin embargo, el objeto de este análisis no es que los estudiantes resuelvan problemas filosóficos y epistemológicos que persisten actualmente, sino que como mencionan Acevedo y otros (2005), se trata de ayudarles a comprender mejor cómo funciona la ciencia contemporánea, puesto que en palabras de Vázquez, Acevedo y Manassero (2004), la imagen de ciencia que usualmente se transmite resulta trasnochada y deformada, ya que se muestra la ciencia del pasado y no la contemporánea, la que se hace hoy en día en los laboratorios de diversas instituciones y en las empresas privadas.

Por otra parte, la formación en ciencias se conceptualiza de distintas maneras, y Marco (1997) distingue las siguientes:

- Formación práctica: la que permite ponerse inmediatamente en acción para mejorar los niveles de vida.

¹*Update*: agregar nueva información, poner al día, actualizar.
Dictionary.cambridge.org

- Formación cívica: la que despierta la conciencia de los ciudadanos acerca de los temas relacionados con la ciencia y la tecnología, les impulsa a actuar sobre ellos y a ejercer plenamente los derechos democráticos.
- Formación cultural: supone la comprensión de la ciencia como actividad humana en su amplio sentido.

En esta investigación es de gran interés ampliar la formación cultural en ciencias, puesto que reconocer la ciencia como una actividad humana, nos pone en una perspectiva diferente. Es posible entender que, como menciona Lagowski (1991), los avances en la ciencia son susceptibles al espectro completo de las debilidades humanas convencionales. A lo largo de la historia, científicos han buscado construir representaciones que describan mejor la realidad y en ese sentido cada fenómeno que desarrollamos representa situaciones del mundo de manera funcional pero no definitiva, en palabras de Mach “debemos estar siempre listos para corregir los conceptos mismos teniendo en cuenta los hechos.” (1948, p. 124). Se hace evidente entonces que, este carácter humano, dinámico e histórico de la ciencia es obviado en su enseñanza y esto supone un problema en su comprensión por parte de los estudiantes, se olvida así que el conocimiento científico evoluciona, es tentativo, sujeto a cambios que se producen de forma gradual a partir de evidencias experimentales y de discusiones.

Es posible identificar entonces, que una formación en ciencias que tiene en cuenta aspectos de su naturaleza le permite tanto al estudiante como al maestro tomar posiciones críticas al respecto, es decir, estudiar estos aspectos de la ciencia posibilita un desarrollo de habilidades de pensamiento crítico. Para los intereses de esta investigación, coincido con Morales (2014) al expresar que el pensamiento crítico es:

Una forma de razonamiento que combina el análisis epistemológico y científico social, con la finalidad de comprender la realidad y, además, cuestionar nuestra forma de comprenderla, nuestro aparato teórico y metodológico que nos sirve para el análisis de la realidad social, para finalmente pensar en posibilidades de acción sobre la realidad estudiada. (p. 8)

Para Halpern (2008) el pensamiento crítico se puede caracterizar en algunas categorías, que dan cuenta de que este es el conjunto de varias habilidades que el sujeto puede

desarrollar; así, es posible determinar una relación directa entre estas habilidades de pensamiento crítico y la capacidad de razonar, la cual desde el MEN (2004) se plantea como una capacidad a la que la formación en ciencias contribuye en su desarrollo.

Ante estas necesidades, en esta investigación pretendo documentar y mostrar que, es posible justificar cómo una formación en ciencias en las escuelas que promueva la enseñanza de contenidos actualizados, lo que a su vez implique el análisis de aspectos de la NDC, puede contribuir al desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en los estudiantes, puesto que “la relación entre destrezas del pensamiento crítico y destrezas puestas en juego para enseñar temas de la NDC pone de manifiesto la coincidencia entre ambos” (p.e Gold citado en Manassero y Vásquez, 2017, p. 510).

Las situaciones antes descritas me motivan a indagar: ¿qué influencia tiene el estudio de principios de la TR en el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en relación con la formación en ciencias desde la representación de situaciones cotidianas?

1.2 Objetivos

Objetivo general

Analizar la influencia que tiene el estudio de principios de la TR en el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en relación con la formación en ciencias desde la representación de situaciones cotidianas

Objetivos específicos:

- Identificar el desarrollo del concepto de espacio-tiempo en la obra de Hermann Minkowski, sus posibilidades para el acercamiento a la TR y sus aportes para el diseño de actividades de aula.
- Reconocer las correspondencias que puedan realizar los participantes entre los aspectos de la NDC y el desarrollo de la TR donde se evidencian habilidades de pensamiento crítico.
- Caracterizar las representaciones que realizan seis participantes de situaciones cotidianas que articulan conceptos de la TR y habilidades de pensamiento crítico.

Capítulo dos. Marco teórico

En este capítulo se plantea la posibilidad de la enseñanza de la TR como constructo teórico base de la formación en ciencias, específicamente de física, producto de la necesidad de un *update* de los contenidos de ciencia que se enseñan en las aulas, teniendo como eje transversal el análisis de aspectos de la NDC y como objetivo el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico. Así, los elementos teóricos considerados para esta investigación se sustentan en tres pilares: una visión cultural presente en la formación en ciencias, la TR y el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico como consecuencia de la formación en ciencias.

2.1 Una visión cultural de ciencia

Reconocer la ciencia como una forma de conocimiento es entenderla como un producto cultural humano. Esto posibilita entender que la actividad científica es susceptible a cambios, a modificaciones, que con el tiempo evoluciona y que no es definitiva. Elkana (1983) y Shapin (1991) respectivamente coinciden al mencionar que la validación de un conocimiento recae en el consenso de un grupo social o comunidad y el conocimiento científico no es la excepción; “las teorías sobre la explicación, en fin de cuentas, se reducen a lo que el consenso social declara como una explicación aceptable.” (Elkana, 1983, p. 12) y “el discurso sobre la realidad natural es un medio de producir conocimientos relativos a esta realidad, de reunir un consenso sobre estos conocimientos y delimitar dominios seguros en relación con otros más inciertos.” (Shapin, 1991, p. 1). Así, “la ciencia no se fundamenta sobre ninguna fuente única de conocimiento; la experiencia y los datos experimentales, las ideas claras y distintas, las consideraciones estéticas, las analogías, son, todas ellas, fuentes legítimas de conocimiento.” (Elkana, 1983, p.18).

Por lo tanto, este reconocimiento tiene importantes implicaciones pedagógicas. En palabras de Martínez y Parga (2013) “resulta importante para la formación ciudadana de los estudiantes comprender la ciencia como una actividad humana que presenta múltiples

controversias e incertidumbres en su constitución y, por tanto, requiere un análisis crítico de sus alcances e impactos.” (p. 26).

Comprender la ciencia como parte de la cultura también desdibuja las fronteras entre la actividad científica y las personas, dado que esta deja de verse como inalcanzable y por el contrario, se entiende como una actividad humana cotidiana, necesaria y accesible. Así, es evidenciable la contribución de la ciencia en la comprensión del mundo, en el cambio de las ideas, en la modificación del medio, ya que la actividad científica es asumida en relación con la cultura y el contexto socio temporal. De esta manera no solo se entenderán mejor las dinámicas de la actividad científica, sino que además esto favorecerá entender mejor el universo que nos rodea, así como el lugar que nos corresponde en él (Furió, et. al., 2001).

Consecuente con lo anterior, en esta investigación se estima que convertir en objeto de reflexión aspectos relacionados con la NDC puede constituirse en un factor clave en la formación en ciencias.

2.1.1 Análisis de aspectos de la NDC como eje transversal de la formación en ciencias

He mencionado anteriormente la postura del MEN frente a cuál es el objetivo de formar en ciencias, quien estipula que ello “significa contribuir a la formación de ciudadanos y ciudadanas capaces de razonar, debatir [...]” entre otros. Es evidente que vivimos en un mundo conquistado por lo técnico-científico y que, en esa medida, para desenvolverse en él la formación en ciencias se ha convertido en una necesidad, pero también en un proceso que permite que las personas desarrollen habilidades de razonamiento. Es precisamente por ello que ha sido necesario repensar la formación en ciencias en la medida en que no basta una formación en conceptos para responder a estas necesidades sociales y que ellas generan relaciones estrechas con el desarrollo científico. Así, investigaciones como la de Vázquez, Acevedo y Manassero (2004), señalan que es necesario reflexionar sobre la ciencia misma para identificar situaciones que permitan comprender mejor el proceder científico, cuando escriben que esto posibilita entender:

Los métodos para validar el conocimiento científico, los valores implicados en las actividades de la ciencia, las relaciones con la tecnología, la naturaleza de la comunidad

científica, las relaciones de la sociedad con el sistema tecnocientífico y las aportaciones de éste a la cultura y al progreso de la sociedad. (p. 132)

Estos aspectos de reflexión sobre la ciencia misma forman parte de la NDC o lo metacientífico. Pensar entonces en la historia, la sociología, la epistemología, entre otros, como aspectos que han estado presentes en la ciencia es reconocer que estos tienen influencia en el desarrollo científico y deben ser, por lo tanto, objeto de estudio en la formación en ciencias. Sobre esto es oportuno decir que es común que muchas personas vean la ciencia como difícil, perfecta, incuestionable y lejana a nuestro contexto, se le suele atribuir un carácter neutral y se le imagina como depositaria de un conocimiento aséptico, objetivo e imparcial que ignora los graves conflictos históricos y su papel dinamizador del desarrollo científico (Aple, citado en Gil, et. al., 1991), esto como consecuencia de una formación en ciencias basada en conceptos (Hodson, 1993). Es por esto que las reflexiones metacientíficas brindan posibilidades para alcanzar los propósitos de formación en ciencias según lo planteado por el MEN, es decir, facilita construir espacios para que las personas desarrollen capacidades de razonamiento, por lo que resulta apropiado decir que este hecho supone ventajas y camino fértil para la formación en ciencias. En este sentido, Bybee (citado en Gil y Vilches, 2001) invita a ayudar a las personas a desarrollar perspectivas de la ciencia y la tecnología que incluyan la historia de las ideas científicas, la naturaleza de la ciencia y la tecnología, a la vez que el papel de ambas tanto en la vida personal como social.

De igual manera, no es un secreto que a lo largo de la historia, la lucha de las mujeres por ser reconocidas como sujetos en el contexto social ha tomado mucha fuerza y sigue vigente en la actualidad. En el desarrollo científico, el no reconocimiento de las mujeres no significa que estas no hayan hecho grandes aportes, sino que su presencia queda oculta por prejuicios y concepciones caducas de lo que es la historia de la ciencia y la tecnología (Navarro, 2016); Reconocer entonces estas dinámicas sociales del desarrollo científico se constituye en un factor clave en la formación en ciencias, dado que esto favorece entenderla como una actividad humana.

Así, no se pretende llevar al aula problemas de la NDC que persisten actualmente, sino para que permitan comprender mejor el cómo funciona la ciencia contemporánea, puesto que esta genera imaginarios alejados de la realidad. Reflexionar sobre estos aspectos también

pone de manifiesto la necesidad de que los contenidos de ciencia deben actualizarse, evidencia la necesidad de un *update* de la formación en ciencias.

2.1.2 La necesidad de un *update* de la formación en ciencias

Entender que en tanto el conocimiento científico a lo largo de la historia evoluciona, la formación en ciencias también debería hacerlo, esto es reconocer “el paralelismo existente entre el desarrollo conceptual de un individuo y la evolución histórica de los conocimientos científicos.” (Gil y Guzmán, 1993, p. 27). Carece de sentido pensar que el trabajo de muchas personas del pasado nos permita disfrutar del conocimiento del mundo que tenemos hoy y que a pesar de eso se siga enseñando la ciencia de siglos pasados; sí, la ciencia que se enseña en la actualidad es funcional pero no es correcta conceptualmente, no brinda una explicación en profundidad del mundo. En el caso del currículo colombiano, la física moderna ni siquiera está incluida como componente adicional a la formación en ciencias; son contenidos que han sido dejados para la formación universitaria, en cuyo caso incluso es pospuesta para los últimos semestres como contenido extra de formación. Incluir entonces el estudio de aspectos de la NDC en la formación en ciencias pone de manifiesto la necesidad de enseñar contenidos actuales de la actividad científica, contenidos que tengan relación directa con el mundo técnico-científico actual.

También, la formación en ciencias “necesita más asombro, más honestidad, más humildad y más valor real para muchos estudiantes.” (Lemke, 2006) y esto puede lograrse con un *update* en sus contenidos ya que este posibilita que el estudiante relacione y contextualice lo que está aprendiendo con situaciones de la vida cotidiana, que implican la aplicación de la ciencia moderna. En nuestro caso particular, hacer el paso conceptual de la física clásica a la TR.

2.2 La teoría de la relatividad

Es importante aclarar que la relatividad es un concepto físico antiguo, desde tiempos de Giordano Bruno ya se hablaba de él y fue trabajado posteriormente por Galileo y Newton; los trabajos de Einstein fueron llamados teoría de la relatividad, lo que a muchos nos lleva a pensar en él como inventor de la relatividad, pero se trata de asuntos diferentes. La TR es un constructo teórico que revolucionó las bases de la física, puesto que propuso unas formas distintas de explicar y comprender los fenómenos físicos. A diferencia de la relatividad antigua, nos invita a pensar no sólo en las cosas que son relativas sino en las que son absolutas (Zuluaga, 2011).

También es de interés para esta investigación hacer puntualización en cómo las formas de entender el mundo en los siglos pasados empezaron a presentar falencias en distintos campos de la física como, por ejemplo, las descripciones de los fenómenos electromagnéticos a partir de los postulados newtonianos. Los intentos por llegar a una representación adecuada de los fenómenos y a un consenso sobre el conocimiento generó la crisis que produjo finalmente este nuevo constructo teórico propuesto por Einstein, pero detrás de él ya muchas personas habían realizado aportes que apuntaban a resolver el problema.

2.2.1 Aspectos de la NDC en el desarrollo de la TR

Alrededor del desarrollo de la TR existen muchos aspectos que pueden ser objeto de análisis en relación con la NDC, a partir por ejemplo de la historia, la epistemología y la sociología de las ciencias, es posible cuestionarse cómo es comunicada una idea, qué influencias están detrás, qué propició el camino para su desarrollo y cómo es aceptada una teoría, entre otros.

Einstein (1985) nos habla de que la creencia en un mundo exterior, independiente del sujeto perceptor, es la base de toda ciencia natural [...] podemos captar la realidad física por medios especulativos, ya que obtenemos información de ella a través de nuestros sentidos; por esta razón, nuestras nociones de la realidad física nunca podrán ser definitivas; por el contrario, las representaciones que hacemos del mundo son subjetivas y por lo tanto propensas a ser transformadas. Esto nos permite ver la fuerte influencia que tenía de Mach,

y cómo lo científico tiene estrecha relación con lo filosófico y las maneras de entender el mundo.

Asimismo, analizar el contexto histórico en el que se desarrolla la TR nos invita a revisar varios asuntos. Por ejemplo, cuál era el estado de la física en los siglos XVIII y XIX y quiénes prepararon el terreno para su desarrollo. La visión newtoniana del mundo funcionaba de tal manera que fue extendida a casi todos los fenómenos naturales, los conceptos fundamentales de la mecánica newtoniana eran tan fuertes, que muchos científicos intentaron describir otros fenómenos diferentes al movimiento y la gravitación con base en estos conceptos: “todos los fenómenos físicos debían ser referidos a masas sujetas a las leyes del movimiento descubiertas por Newton.” (Einstein, 1985, p. 64). Es entonces el desarrollo del estudio del electromagnetismo el que genera una crisis, puesto que la mecánica clásica no permitía describir y predecir correctamente este fenómeno: “la teoría de la relatividad, bien puede decirse, ha puesto algo así como un toque final al importante edificio intelectual construido por Maxwell y Lorentz, intentando extender la teoría de campos a todos los fenómenos, incluido el de la gravitación.” (Einstein, 1985, p. 54). Es posible sobre este hecho profundizar sobre cómo evoluciona una idea hasta convertirse en una teoría científica, sus contrastes con la experiencia, sus aplicaciones, qué personajes intervienen en el proceso, cómo es validado este conocimiento, qué relaciones con la sociedad se tejen, entre otros.

Einstein no era matemático sino físico, por lo cual necesitó de la ayuda de varias personas para describir matemáticamente sus ideas. Su antiguo profesor Minkowski, decidió dotar la teoría de una estructura matemática formal. Luego, anunció teatralmente la teoría de Einstein con su nuevo enfoque matemático en una conferencia pronunciada en 1908 en la universidad de Gotinga ante varios académicos (Isaacson, 2016).

También la ayuda de su esposa Mileva fue trascendental: “¡Qué feliz y orgulloso me sentiré cuando los dos juntos hayamos llevado a término nuestro trabajo sobre el movimiento relativo!”, le había escrito Einstein a su amante Mileva Maric en 1901. Luego ese trabajo se había llevado a término y Einstein estaba tan exhausto al acabar un borrador en junio, que su cuerpo se resintió y tuvo que estar dos semanas en cama, mientras que Maric revisaba el artículo una y otra vez (Isaacson, 2016).

Por otro lado, como miembro del consejo editorial de los *Annalen der Physik* responsable de los artículos teóricos, Planck había examinado los trabajos de Einstein, y el de la relatividad de inmediato le había llamado vivamente la atención[...] en cuanto se publicó, Planck dio una conferencia sobre relatividad en la Universidad de Berlín[...] esto ayudó a que la teoría de la relatividad fuera legitimada entre otros físicos (Isaacson, 2016).

También, la historia nos permite identificar el contexto social y político en el que se movió Einstein: su prestigio entre la comunidad científica era enorme, por lo que su presencia pública se fue haciendo cada vez más notable. Einstein había albergado sentimientos que le predisponían favorablemente al pacifismo, el federalismo mundial y el socialismo. Sin embargo, en general había rehuido el activismo político. La primera Guerra Mundial cambió aquella situación. Einstein jamás abandonaría la física, pero desde entonces pasaría a defender firmemente en público, durante la mayor parte de su vida, sus ideales sociales y políticos. La irracionalidad de la guerra hizo creer a Einstein que, de hecho, los científicos tenían el deber especial de intervenir en los asuntos públicos. Sin embargo, se sintió decepcionado al ver cómo sus colegas más cercanos defendían la guerra participando incluso en la construcción de armas bélicas; esto obligó a Einstein a romper con ellos políticamente. Los tratados de paz que pusieron fin a la Primera Guerra Mundial tras cinco años de enfrentamiento bélico y la muerte de millones de personas, prepararon el escenario para la Segunda. Mientras, Einstein había logrado señalarse como un individuo poco grato a los ojos del régimen político alemán, algo que tampoco mejoraría con el final de la guerra (Isaacson, 2016).

Estos son solo ejemplos de aspectos de la NDC presentes en el desarrollo de la TR que podrían ser objeto de reflexión. Así, este análisis posibilita un entendimiento más profundo de la ciencia, de su funcionamiento, de sus aplicaciones e implicaciones, de su relación con lo social, las formas de su validación y divulgación, es decir, estudiar estos aspectos del desarrollo científico permiten una mejor comprensión del porqué de la teoría.

Complementario a lo anterior, para seguir profundizando en el proceso de construcción y consolidación de la TR, es importante también señalar los aportes de Minkowski puesto que hizo un aporte matemático muy valioso a la TR, y sin embargo no fue sencillo encontrar información sobre él y su obra. Es de interés para esta investigación puntualizar la

importancia de reflexionar sobre cómo detrás de una teoría científica existe el trabajo de muchas personas.

2.2.2 La geometría de Minkowski: un aporte a la consolidación de la TR

Hermann Minkowski fue un matemático alemán (1864-1909), maestro de Albert Einstein y quien en 1908 anunció la nueva visión cuatridimensional del mundo considerando el espacio y el tiempo como una sola entidad donde estos son dependientes entre sí e inseparables a la que llamó espacio-tiempo, y desarrolló un formalismo matemático como descripción de sus propiedades geométricas; esto significó un gran aporte a la TR desarrollada por Einstein en 1905, permitiendo identificar las magnitudes invariantes sin grandes cálculos matemáticos. Sin embargo, es hasta 1912 que Einstein acepta los aportes de su maestro con los cuales finalmente termina construyendo la relatividad general junto a otros, en donde plantea la gravedad como una curvatura del espacio-tiempo.

Es de interés para esta investigación ahondar en el trabajo realizado por Minkowski, puesto que se considera que sus aportes a la TR brindan herramientas didácticas para el acercamiento a los postulados de la teoría. En su obra *Space and time* (1908), Minkowski hace un constructo geométrico que muestra que desde distintos sistemas de referencia es posible dar cuenta de un fenómeno sin que este sea afectado por los mismos, es decir que para Minkowski (1908) el fenómeno no está determinado por el sistema de referencia.

Para este autor, el espacio-tiempo está ligado a la ocurrencia de eventos. No es posible pensar en un evento que no esté ligado a un tiempo o a un lugar en el espacio, es decir, no tiene sentido hablar del espacio-tiempo si este no está asociado a eventos, y no es posible hablar de eventos que no estén asociados al espacio-tiempo: ambos se determinan entre sí.

El problema que Minkowski intenta resolver trata de las invarianzas que se encuentran en los postulados de la mecánica clásica. Primero, cuando el sistema de coordenadas espaciales es sometido a cualquier cambio de posición, las ecuaciones no cambian, tampoco cuando existe un cambio en el estado de movimiento; además el tiempo $t = 0$ no tiene relevancia en la descripción del fenómeno. Para este autor, esta doble invarianza casi no se

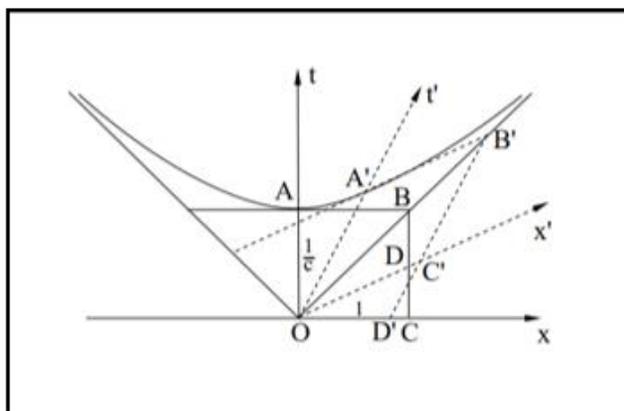
percibe porque se da por sentado los axiomas de la geometría y no se hace una revisión profunda en las consecuencias que pueden tener estas modificaciones.

Minkowski (1908) asume el tiempo como una cuarta dimensión adicional a las tres dimensiones espaciales, las cuales forman el escenario cuatridimensional de la realidad física. Un punto de coordenadas x, y, z, t es llamado un *worldpoint*, una curva que pasa por un *worldpoint* es llamado un *worldline* y el colector de todos los posibles puntos es el universo. Así, un punto en el espacio-tiempo representa un evento y una curva que pasa por ese punto caracteriza ese evento; es decir, este punto y esa curva tienen significado físico. Esto, posibilita explicar el universo en función de la ocurrencia de eventos y de cómo estos se relacionan entre sí.

A continuación, se presenta una breve reseña de la construcción geométrica que hace Minkowski en su obra, a partir de una hipérbola de dos hojas en el plano (x, t) dejando y y z fijos debido a la complejidad de realizar una gráfica en cuatro dimensiones. Este analiza la parte positiva de la hipérbola, es decir, desde $t > 0$ como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Construcción geométrica de Minkowski. Hipérbola de dos hojas desde $t > 0$



Posteriormente, realiza transformaciones lineales homogéneas de x, y, z, t a x', y', z', t' de modo que la hoja de la hipérbola en estas nuevas variables tenga la misma expresión, Dejando entonces y y z fijos, hacemos la construcción:

Dibujamos la rama superior de la hipérbola con sus asíntotas $c^2t^2 - x^2 = 1$; luego, dibujamos desde el origen O un radio vector arbitrario a esta rama de la hipérbola y le llamamos OA' . También, añadimos la tangente a la hipérbola en A' y nombramos B' al punto en el que se cruza esta tangente con la asíntota por la derecha; desde B' trazamos una línea paralela a OA' y desde O trazamos una línea paralela a $A'B'$ y llamamos C' al punto que cierra el paralelogramo $OA'B'C'$; por último, como lo necesitaremos más adelante, extendemos $B'C'$ de modo que se cruce con el eje x en D' . Si ahora consideramos OC' y OA' como ejes para las nuevas coordenadas x', t' , con las unidades de escala $OC' = 1$, $OA' = 1/c$, entonces esa rama de la hipérbola obtiene de nuevo la expresión $ct'^2 - x'^2 = 1$ con $t' > 0$, y la transición de x, y, z, t a x', y', z', t' es una de las transformaciones en cuestión.

Si ahora aumentamos c hasta el infinito de modo que $1/c$ converja a cero, es posible notar a partir de la figura que la rama de la hipérbola se inclina más y más hacia el eje x , que el ángulo entre las asíntotas se hace mayor, y x' se acerca a x cada vez más. Tomando esto en cuenta se hace evidente que el límite $c = \infty$ es exactamente lo que se asocia con la mecánica newtoniana, lo que nos lleva a pensar que c tiene un valor finito y es precisamente esta premisa la que matemáticamente marca una diferencia en esta propuesta respecto a la mecánica newtoniana.

Posteriormente este parámetro c se asocia con la velocidad de propagación de la luz en el vacío, concepto que será de gran importancia también para la TR. Para esto, Minkowski introduce el siguiente axioma: con las configuraciones adecuadas de espacio y tiempo, cualquier cuerpo en un *worldpoint* puede siempre ser considerado en reposo. Esto significa que la expresión $cdt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$ es siempre positiva, teniendo como consecuencia que los cambios diferenciales en el espacio y el tiempo serán siempre menores al valor c ; así entonces este valor c pasa a ser un valor que marca un límite superior para todas las velocidades del universo, lo que le da el significado profundo al parámetro c .

La propuesta de Minkowski es entonces representar el espacio-tiempo en un plano donde uno de los ejes represente el espacio y el otro el tiempo. En esta propuesta geométrica el criterio de ortogonalidad no es el conocido desde Euclides. Es decir, hay figuras que son ortogonales, pero no lucen como hemos estado acostumbrados a verlos; la geometría que

trabaja Minkowski no es euclídea sino más bien hiperbólica. En el caso de la figura 1, por ejemplo, los nuevos ejes formados por x' y t' son ortogonales entre sí como lo son x y t y estos nuevos ejes representan un nuevo sistema de referencia que puede dar cuenta del mismo fenómeno.

En este orden de ideas, observemos algunos gráficos que representan situaciones en el espacio-tiempo propuesto por Minkowski:

Figura 2

Diagrama de espacio-tiempo de un cuerpo en reposo en el espacio

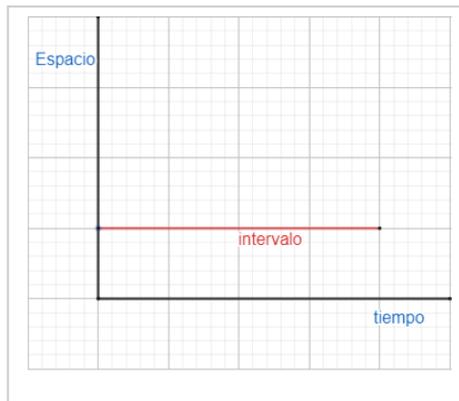


Figura 3

Diagrama de espacio-tiempo de un cuerpo en movimiento uniforme

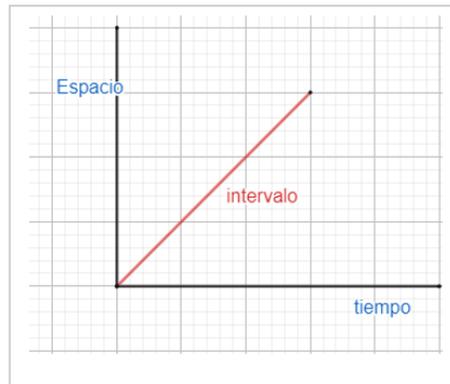
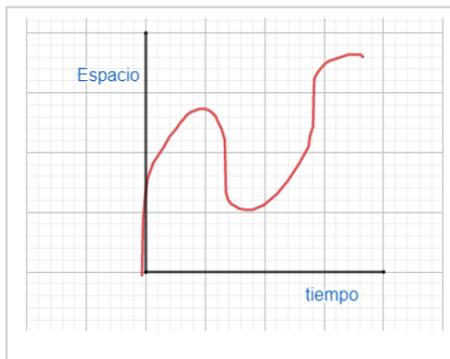
**Figura 4**

Diagrama de espacio-tiempo de un cuerpo en movimiento no uniforme



Sin embargo, el hecho de que distintos observadores puedan tener la misma medida de una magnitud presenta un problema matemático, problema que Minkowski resolvería con su propuesta para medir distancias entre dos puntos en el espacio-tiempo introduciendo su concepto fundamental de métrica, indicando que esta está dada por la expresión

$c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$, la cual podría también expresarse como sigue

$$s = \sqrt{\Delta t^2 - \Delta X^2}$$

Donde s representa el intervalo entre dos puntos (eventos) en el espacio-tiempo.

Es necesario puntualizar que en esta investigación no se desarrolló el concepto de métrica o las propiedades geométricas del espacio-tiempo², sin embargo, es importante mencionar cómo Minkowski resuelve el inconveniente que implica que el fenómeno no dependa del sistema de referencia.

Así, es posible concluir que lo newtoniano y lo relativista coinciden numéricamente al representar situaciones cotidianas, de masas y velocidades pequeñas, pero conceptualmente existen diferencias profundas; los aportes de Minkowski brindan herramientas fundamentales para la explicación de postulados de la TR. Por lo tanto, considero que es una posible herramienta de acercamiento conceptual puesto que una de las dificultades de la enseñanza de la TR es su complejidad matemática.

Asimismo, vale la pena hacer énfasis en las ventajas conceptuales que produce el acercarse a la TR desde lo geométrico: primero, las matemáticas detrás del desarrollo de la TR son de alta complejidad para llevar a las aulas, por lo que lo geométrico brinda herramientas didácticas en la enseñanza de esta; también, entender un evento con relación a otros eventos y no solitario o absoluto en el universo, es uno de los conceptos fundantes de la TR. También, el acercamiento geométrico a la TR posibilita la descripción de situaciones de la cotidianidad, situación que nos permitirá relacionar contenidos de la ciencia contemporánea con situaciones del día a día.

2.2.3 La TR en lo cotidiano

Usualmente se suele relacionar la teoría de la relatividad con fenómenos que escapan a nuestra vida diaria, como el estudio de agujeros negros, de cuerpos supermasivos u objetos que se mueven a velocidades altísimas. Sin embargo, lo cierto es que los fenómenos que ocurren en nuestra cotidianidad, como los usualmente trabajados en una clase de física, pueden ser descritos desde este constructo teórico. A pesar de esto, hay quienes defienden el uso de teorías antiguas porque funcionan, son más sencillas y estamos más familiarizados con ellas, y afirman que usar una teoría tan compleja para situaciones sencillas no tiene

² Revisar una propuesta de desarrollo de estos elementos en *Elementos para una nueva didáctica de la Teoría de la Relatividad: un enfoque geométrico* por León, E. (2013)

sentido, como diría Zuluaga (2011) es como matar un mosquito con un cañón. El problema que tenemos aquí es que, si bien la visión newtoniana del mundo es funcional y numéricamente parecida a la TR, en lo conceptual son muy diferentes y la TR nos permite tener explicaciones mucho más completas del mundo. El movimiento, por ejemplo, es uno de los fenómenos que puede ser estudiado desde los postulados de la TR usando situaciones de la vida cotidiana: el movimiento de un auto, desplazarse en el metro de la ciudad, la caída de los cuerpos, son situaciones que todos tenemos al alcance de nuestra experiencia y que nos permitirán acercarnos conceptualmente a la teoría y poner en juego el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico.

2.3 El desarrollo de habilidades de pensamiento crítico como objetivo de la formación de ciencias

Razonar. Quiero detenerme en esta palabra puesto que tiene relación directa con lo que para algunos autores es el pensamiento crítico: Ennis por ejemplo, menciona que se trata de un pensamiento acertado y reflexivo, orientado en decidir qué pensar y qué hacer (1987); por su parte, Villarini (2003) pone de manifiesto que se trata de la “capacidad que tiene el ser humano para construir una representación e interpretación mental significativa de su relación con el mundo.”(p.36), mientras que para Jiménez (2010) “es la capacidad de desarrollar una opinión independiente, adquiriendo la facultad de reflexionar sobre la sociedad y participar en ella.” (p. 39).

Puntualizaré nuevamente que según el MEN el objetivo de la formación en ciencias es formar personas con capacidad de razonar[...]. Es de interés para esta investigación hacer énfasis en el sin sentido de formar en ciencias si este acto no tiene un propósito, y qué más importante que uno que tiene relación estrecha y compleja con la sociedad. La didáctica de las ciencias según Lemke (2006) necesita redirigir sus esfuerzos hacia entender mejor cómo la educación científica puede realizar contribuciones esenciales a las habilidades de pensamiento crítico de los estudiantes y Mockus (1989) propone que la formación en ciencias puede ser concebida como una escuela de racionalidad; en esa medida, el conocimiento específico sigue siendo importante pero no es lo único determinante, “pues lo que se constituye como fundamental es la formación de sujetos y comunidades que piensen y actúen

críticamente con los aprendizajes adquiridos en la escuela.” (Tamayo et. al, 2015, p. 112). También, autores como Popper (1975) muestran el pensamiento crítico como objetivo de formación en el aula: “toda la enseñanza a nivel universitario (y si es posible antes) debería ser entrenamiento y estímulo al pensamiento crítico.” (p. 150).

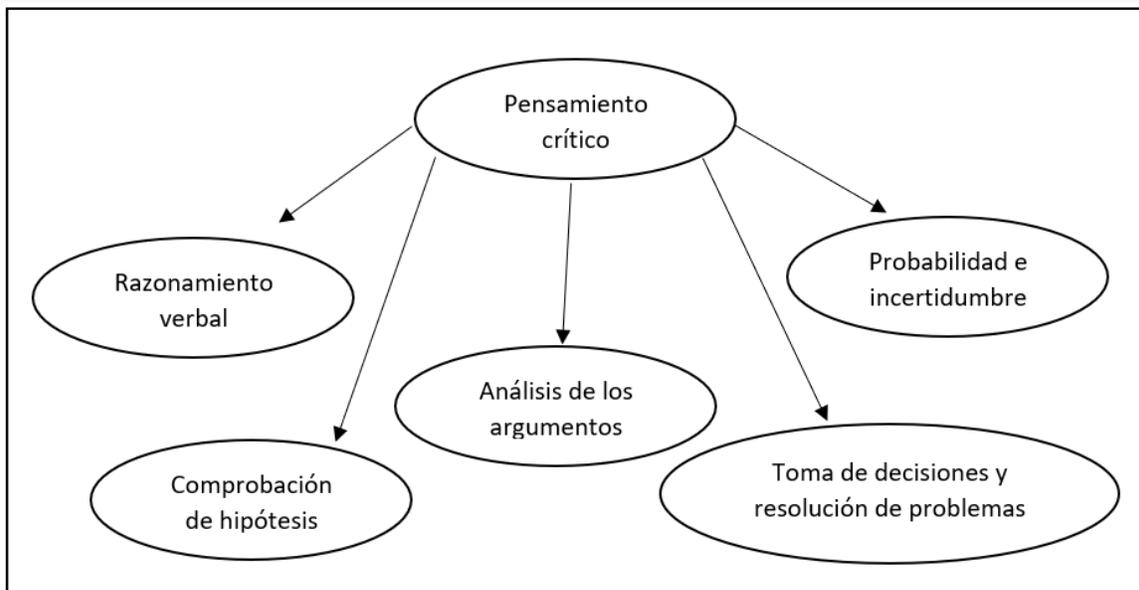
Por otro lado, la psicóloga Halpern pone de manifiesto que el pensamiento crítico puede ser concebido como un conjunto de destrezas, las cuales hemos nombrado habilidades a lo largo de esta investigación; para ella, el pensamiento crítico hace referencia a:

[...] el uso de herramientas cognitivas o estrategias que aumentan la probabilidad de un resultado deseable. Es intencionado, razonado y con objetivos. Es la clase de pensamiento detrás de la resolución de problemas, formulación de inferencias, identificación de probabilidades, y el uso consciente de una herramienta entre una variedad de ellas (2008, p. 294).

Así, Halpern (2008) plantea que es posible identificar habilidades de pensamiento crítico en cinco categorías como se ilustra en la figura 5.

Figura 5

Caracterización del pensamiento crítico desde Halpern (2008)



Esta categorización es de interés para la investigación en tanto brinda una base de análisis de los insumos obtenidos en el trabajo con los participantes, sobre todo las categorías de razonamiento verbal y el análisis de los argumentos.

Adicionalmente, Halpern ha desarrollado una prueba para testear la presencia de habilidades de pensamiento crítico en los sujetos llamada HCTA (The Halpern Critical Thinking Assessment). La autora utiliza dos premisas para lograr su objetivo: hace uso de situaciones cotidianas y de diferentes formatos de preguntas, abiertas, de selección múltiple, de única respuesta, lo cual permite que el participante esté familiarizado con las preguntas o tenga un contexto, que pueda resolver una situación de manera espontánea pero también cuando deba tomar decisiones cuando las opciones son limitadas.

2.3.1 Aspectos de la NDC en la TR y el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico

Una de las premisas de esta investigación es que el estudio de aspectos de la NDC aporta elementos valiosos a la formación en ciencias en relación con su objetivo desde el MEN, y solo hace falta hacer una breve revisión histórica del desarrollo que ha tenido la física en los últimos cien años para encontrar un mundo de aspectos que podrían ser objeto de reflexión en la formación en ciencias, y darse cuenta de que sin el desarrollo de la TR y la cuántica el mundo actual sin duda sería muy diferente. Es posible entonces considerar que las dificultades encontradas por los alumnos en el aprendizaje de, por ejemplo, la Mecánica, son comparables a las que históricamente se produjeron en el paso del paradigma aristotélico-escolástico a las concepciones clásicas. Esto exigió un verdadero cambio conceptual y metodológico que sería necesario provocar también en los alumnos con la enseñanza de teorías contemporáneas (Gil, Senent y Solbes, 1985), esto como estímulo al desarrollo de habilidades de pensamiento crítico.

Capítulo tres. Metodología

En este capítulo se documenta el proceso detrás de la recolección y el análisis de la información que junto con el capítulo anterior soporta los hallazgos de esta investigación.

3.1 Enfoque y Método

En esta investigación, la ciencia es entendida como un producto cultural humano. Asumirla en estos términos me posibilita reconocer su naturaleza susceptible a modificaciones, debido a la subjetividad humana que subyace a esta actividad. Es oportuno precisar entonces que, es justamente desde esta perspectiva de ciencia que se desarrolla esta investigación a fin de reconocer en el otro la validez de sus diferentes posibilidades de entender el mundo.

El objetivo de esta investigación es analizar la influencia que tiene el estudio de principios de la TR en el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en relación con la formación en ciencias desde la representación de situaciones cotidianas; dada la intencionalidad de la investigación construí una ruta de significación mediante tres ejes: el análisis de aspectos de la NDC, principios de la TR y habilidades de pensamiento crítico.

Toda la investigación estuvo mediada por la interpretación a fin de analizar y contextualizar las respuestas de los participantes, dado que se considera que estos cuestionamientos pueden mostrar significaciones distintas en espacios, tiempos y personas distintas (Hernández et al., 2010). Al respecto, conviene precisar que los análisis e interpretaciones que se hicieron en este proceso hacen referencia solo a los casos situados en los contextos en los que tuvo lugar la información suministrada.

Este proceso de investigación también fue caracterizado por su flexibilidad, el análisis de los datos fue incidiendo en la estructuración de la investigación misma y, desde luego, propiciando modificaciones incluso en el alcance de la investigación; así, fue posible volver a las etapas anteriores y reestructurarlas con el objetivo de acercarme a los modos de comprender de los participantes desde de la información obtenida en las interacciones con ellos. Es decir, el proceso de investigación no siguió una linealidad a lo largo de su desarrollo.

Igualmente, es importante resaltar el papel que cumplieron los participantes en este proceso. Al respecto es necesario decir que, dado el interés que se tiene en esta investigación, los participantes seleccionados no fueron el objeto de investigación, sino que, fue mediante ellos que busqué comprender y establecer posibles relaciones entre la formación en ciencias y el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico, método que, en términos de Stake (1999) es caracterizado como estudio de caso instrumental.

La anterior caracterización permitió enmarcar este proceso investigativo en los lineamientos teóricos del enfoque cualitativo con el método de estudio de caso instrumental.

3.2 Contexto de investigación

Esta investigación se desarrolló en la Institución Educativa Comercial de Envigado, contexto que coincide con el centro de práctica. Esta relación se dio gracias a que existe un convenio entre la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia y esta institución. Esta, está ubicada en el municipio de Envigado en el barrio La Mina parte alta; sus estudiantes habitan en los barrios San Rafael, La Mina parte alta y parte baja, San José, El Salado, barrio Mesa, La Magnolia, La Paz y El Dorado. En esta población predominan los estratos uno, dos y tres.

La Institución cuenta con jornada única desde preescolar hasta media académica y técnica. Desde su PEI plantea preguntas respecto a la formación académica como, ¿Qué tipo de hombre quiere formar la Institución? ¿Qué imágenes se tiene acerca del conocimiento y el aprendizaje? ¿Qué estrategias metodológicas se deben implementar? ¿A través de qué contenidos y experiencias? Sobre estas cuestiones me interesa resaltar la estrecha relación entre estas y la intención de esta investigación, puesto que me interesa precisamente mostrar la formación en ciencias como posibilitadora del desarrollo de habilidades de pensamiento crítico.

Otro aspecto importante por destacar es que esta investigación se desarrolló en el marco de la emergencia sanitaria debida a la propagación del coronavirus (SRAS-CoV-2), por lo cual fue necesario acudir al uso de herramientas virtuales para realizar los encuentros. Indudablemente esta situación propició unas condiciones particulares en la interacción con los participantes, la cual tuvo lugar mediante las plataformas Teams y Meet. No obstante,

pese a ser virtuales los encuentros, a mi juicio, esto no tuvo incidencia en el logro de los objetivos planteados en esta investigación.

3.3 Casos y criterios de selección

En esta investigación fueron seleccionados como participantes seis (6) estudiantes del grado décimo, tres mujeres y tres hombres con edades entre los 15 y 17 años puesto que, de acuerdo con los Derechos Básicos de Aprendizaje estipulados por el MEN (2016), los estudiantes en el grado noveno deberían comprender “que el movimiento de un cuerpo, en un marco de referencia inercial dado, se puede describir con gráficos y predecir por medio de expresiones matemáticas.”.

Es importante señalar que, la selección de hombres y mujeres por igual le brinda a la investigación un carácter neutral respecto a la variable del género. También, he plasmado algunas reflexiones en el diario de campo, las cuales dieron cuenta del proceso de observación en el contexto de la investigación, lo que resultó de gran utilidad especialmente para selección de los casos. Consideré entonces los siguientes criterios para su selección:

- Participación: Los casos debían ser estudiantes que participaran de manera activa en sus clases, puesto que, a juicio de la investigadora, esto se constituyó en un indicador para establecer el interés del participante con los temas relacionados con la física.
- Disposición: Los estudiantes debían estar dispuestos a encender la cámara en esta situación de virtualidad, ya que entiendo que en las expresiones del otro hay cosas que se comunican y que pueden ser útiles en la investigación.
- Disponibilidad de tiempo: Los estudiantes seleccionados debían contar con disponibilidad de tiempo para realizar los encuentros, ya que algunos de estos se realizaron en jornadas extraclase y fue necesario recurrir a encuentros adicionales.
- Capacidad de expresar sus ideas: En la observación de las clases tuve en cuenta la facilidad con la que los estudiantes planteaban preguntas o respondían a las formuladas por el profesor. Esto se constituyó en un indicador para establecer si contaban con habilidades para comunicar sus ideas, ya que estas permitían que ellos suministraran la información suficiente para interpretar como estaban comprendiendo las situaciones planteadas.

3.4 Consideraciones éticas

Es importante tener claridad del proceso en ambas partes, el investigador y los casos. Para esto, los estudiantes que participaron, su acudiente y el investigador firmaron un consentimiento informado, en el que se establece los términos de la investigación; es decir, se indica si el trabajo será publicado, se garantiza el tratamiento y uso de los datos y el anonimato de los participantes, y se indica que la investigación tiene solo fines académicos (ver anexo 4).

3.5 Recolección de la información

La recolección de la información se hizo en cuatro momentos. Estos se desarrollaron mediante la implementación de diversas estrategias (métodos) y con la aplicación de instrumentos de acuerdo con los objetivos planteados. En el grupo de investigación por consenso, decidimos hacer uso de lo que nombramos “encuentros académicos” como estrategia, que trata de encuentros con los participantes para la discusión y el debate. Así, la observación, la entrevista semiestructurada y los encuentros académicos fueron los métodos utilizados. Los encuentros académicos fueron grabados en audio y video y algunos instrumentos fueron realizados con la herramienta Formularios de Google, la cual permitió que los participantes enviaran sus respuestas escritas en formato digital.

3.5.1 Acerca de los instrumentos

La aplicación de cada uno de los instrumentos fue previamente validada por el maestro asesor y por pares académicos. Este proceso se fue dando a medida que diseñaba cada instrumento y lo socializaba y discutía con el grupo de investigación.

Los instrumentos fueron diseñados respondiendo a los objetivos específicos de la investigación y al desarrollo teórico de la misma, por lo que fue de suma importancia el análisis de la obra de Minkowski, el estudio de la biografía de Einstein y de diversos documentos sobre la naturaleza de la ciencia para este desarrollo.

3.5.2 Aplicación de los instrumentos

Los cuatro momentos sucedieron así:

Momento 1: El primer momento tuvo una duración de aproximadamente 110 minutos y en este se llevó a cabo el desarrollo de dos actividades. Para ello, realizamos un encuentro académico y una entrevista semiestructurada en cada actividad. Primero los participantes respondieron a las entrevistas de manera escrita y luego socializaron y discutieron sus respuestas. El objetivo de este primer momento fue indagar sobre cómo los participantes entendían la actividad científica y su importancia en la sociedad y cómo son identificados aspectos de la NDC como la historia y la sociología en el desarrollo de la TR, puesto que es de interés para la investigación mostrar estos aspectos como claves en una propuesta de formación en ciencias. En la primera actividad se le solicita al participante que cuente cómo entiende o qué significa para él/ella la ciencia y ciertos asuntos relacionados con ella; también que indique el grado de importancia que considera tiene la ciencia en la sociedad actual. En la segunda actividad, se le solicita al participante leer un texto y a partir de este responder las preguntas planteadas.

Momento 2: El segundo momento tuvo una duración de aproximadamente 50 minutos y en este se llevó a cabo el desarrollo de dos actividades. Realizamos un encuentro académico en el que propiciamos una discusión alrededor de las palabras reposo, tiempo, espacio, movimiento, sistema de referencia, esto con el fin de identificar cómo los participantes comprendían algunos conceptos que son objeto de estudio de la TR. También en la segunda actividad, los participantes analizaron situaciones cotidianas propuestas, con el fin de precisar cómo es posible establecer relaciones entre situaciones cotidianas y conceptos de la TR sin tener una formación avanzada en física. También formulé preguntas cerradas de selección múltiple y falso o verdadero que permitieron triangular las respuestas de los participantes, analizar cómo escogen la opción más acertada y con ello caracterizar habilidades de pensamiento crítico (Halpern, 2006).

Momento 3: El tercer momento tuvo una duración de aproximadamente 50 minutos y en este se llevó a cabo el desarrollo de dos actividades. De manera previa los participantes realizaron la observación de cómo se derretía un cubo de hielo durante treinta minutos, y como primera actividad, en un encuentro académico discutimos acerca de lo observado y su

relación con el tiempo, el movimiento y el reposo, esto con el fin de identificar cómo los participantes sin formación avanzada en física pueden establecer relaciones entre situaciones cotidianas y conceptos de la TR. También analizamos diferentes gráficos de Minkowski con el fin de precisar cómo los participantes identifican información de una situación a través de un gráfico de espacio-tiempo.

Momento 4: El cuarto momento tuvo una duración de aproximadamente 60 minutos y en este se llevó a cabo el desarrollo de dos actividades. En un encuentro académico analizamos algunos gráficos de espacio-tiempo, con el fin de identificar si los participantes establecían relaciones entre los diferentes sistemas de referencia para un mismo fenómeno. Luego, les mostré una historieta y cómo esta podía ser representada en un gráfico de espacio-tiempo en un sistema de referencia de un observador externo para que luego ellos graficaran la misma historia desde otro sistema de referencia, esto con el fin de analizar cómo los participantes validan o entienden el uso de otros sistemas de referencia para el mismo fenómeno.

3.6 Sistematización y Análisis

Para sistematizar la información los encuentros académicos fueron grabados y posteriormente transcritos, por lo que toda la información fue organizada en texto y ordenada de manera cronológica, es decir, fue separada en cada uno de los cuatro momentos que se desarrollaron.

Posteriormente, la información de cada momento fue separada por casos, todas las respuestas escritas o transcritas de la grabación de cada uno de los participantes fue separada, con el fin de analizar las respuestas de cada caso individualmente. De ahí, que las unidades de análisis fueran párrafos, respuestas o cada una de las intervenciones que hacía cada participante.

Luego, identifiqué las posibles categorías que surgieron desde el planteamiento teórico de la investigación. Comparé las unidades de análisis entre ellas para establecer relaciones y/o diferencias y así empezar a agrupar la información en diferentes categorías. En este proceso, surgieron algunas categorías nuevas, las que Hernández et al. (2010) llaman categorías emergentes, también la categoría “otras” para aquellas unidades de análisis que no

se correspondían con ninguna otra categoría. Teniendo la información separada por categorías, resalte la que era de mayor utilidad señalando palabras o frases claves y construí así matrices de análisis de doble entrada para poder identificar las respuestas que apuntaban a los objetivos de la investigación (ver anexo 1 y 2).

Posteriormente, construí matrices de triangulación entre las categorías de cada instrumento para establecer relaciones de correspondencia entre ellas como insumo para construir los hallazgos de la investigación junto con el planteamiento teórico (ver anexo 3). Estos serán reportados en el siguiente capítulo.

Capítulo 4. Hallazgos

En este capítulo se muestran las relaciones encontradas entre los planteamientos teóricos y la información recogida a partir del sistema de categorías construido para el análisis y orientación del proceso investigativo. Así, se muestra cómo los participantes sin formación elevada en física comprenden y describen algunas situaciones cotidianas en relación con principios de la TR, también cómo vincular aspectos de la NDC en la formación en ciencias privilegia las relaciones entre ciencia y sociedad y cómo una visión cultural de la ciencia favorece el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico. En adelante, los participantes serán nombrados casos con la letra C seguida de un número para diferenciarlos: C1, C2, C3, C4, C5 y C6.

4.1 Principios de la TR en lo cotidiano: el movimiento y el reposo son relativos

Antes de hablar de movimiento, es necesario hacer hincapié sobre la importancia, casi que obvia, del tiempo y del espacio para la física; todos los casos concuerdan en que el tiempo y el espacio son magnitudes físicas; para C1 el espacio “es aquel que uno representa en el universo [...]”, para C4 “es el campo, territorio o la amplitud de determinado lugar. Un ejemplo de este sería una habitación, o una cancha, entre otros.”, para C5 “es donde se encuentra un objeto y donde ocurren eventos específicos.”; en cuanto al tiempo, C1 afirma que “es la forma en la que se representa todo suceso que ocurre, o va a ocurrir en determinada situación” e indica que “básicamente el espacio y el tiempo se podría decir que definen en gran parte lo que es la física [...]”; mientras que para C2 “el tiempo representa la sucesión de actividades en la vida.”.

Ahora bien, el movimiento es una acción de cambio. Para Einstein (1916), una descripción completa del movimiento no se obtiene al especificar cómo varía la posición del cuerpo con el tiempo, sino que estos datos hay que completarlos con una definición del tiempo con la cual podamos considerar estos valores temporales como magnitudes esencialmente observables.

Los casos definen el movimiento como cambio de lugar respecto al tiempo, sin embargo, no es intuitiva esta definición de tiempo a la que Einstein invita. Para C1 el movimiento “trata de toda acción que realiza un cuerpo en reposo para desplazarse.”, C2 sostiene que “es el cambio de posición de cualquier elemento [...]”, mientras que para C5 “es el cambio de posición o de lugar de algún objeto en el espacio.”. En cuanto al reposo, se hace evidente la relación directa que tiene con el movimiento: para C1, “se trata de toda acción que realiza un cuerpo en movimiento para detenerse.”, C2, C3, C4 y C6 concuerdan en que se trata de descanso, quedarse quieto. Por su parte, C5 manifiesta que “es cuando algún objeto no se mueve [...]”.

Es difícil encontrar definiciones teóricas de estos conceptos puesto que son intuitivos, y han sido objeto de discusión filosófica durante siglos, sin embargo, una reflexión sobre estos se hace necesaria en tanto la TR es una teoría del movimiento. La premisa de que el movimiento y el reposo son relativos se sostiene en el teorema que propone Minkowski (1908) al mencionar que, con las configuraciones adecuadas de espacio y tiempo, cualquier cuerpo en un *worldpoint* puede siempre ser considerado en reposo. De aquí la necesidad de decir que el cuerpo está *en movimiento respecto a* o *en reposo respecto a*, es decir, determinar el sistema de referencia del cual hablaré más adelante.

Respecto a la relatividad del movimiento y la imposibilidad de hallar un solo objeto en reposo absoluto en el universo, C1 y C2 coinciden en decir que “a pesar de que estemos en reposo nuestro cuerpo sigue funcionando y efectuando ciertas acciones para mantenernos vivos.”; C3 y C5 coinciden en decir que “el planeta se mueve constantemente.” y C6 indica que “todo está en constante movimiento.”. Los casos también indicaron ejemplos de situaciones cotidianas en las cuales es posible identificar la relatividad del movimiento; para C3 “puede ser por ejemplo cuando uno está viajando en bus o algo y uno esta reposadito [...] pues, uno está quieto mientras se mueve [...]”, algo similar a lo que piensa C4 quien pone por ejemplo “cuando el objeto o la personas se encuentran en reposo encima de un objeto que esté en movimiento.”; C6 hace la relación con flotar en una piscina; por otra parte, C2 menciona que cuando va caminando en la calle y hay personas a su alrededor “uno ve que ellas se están acercando a uno.”, y C5 en la situación de ir viajando en un bus dice que “[...] si las personas que están en las casas ven hacia afuera pues ven que el bus se mueve, pero si

yo estoy en el bus yo no puedo ver que se mueve el bus sino que las casas van como moviéndose.”.

También, respecto a la imposibilidad del reposo en el tiempo, C1 indica que “[...] el tiempo solamente tiene una dirección y es para adelante, literalmente no creo que sea posible escaparse del tiempo”; para C5 “el tiempo no se detiene” y C6 dice “no considero que uno se puede salir de él, pero dependiendo de la situación uno lo puede medir de formas distintas, pero no, no considero que uno se pueda salir de él.”.

4.1.1 El movimiento y el reposo en el espacio-tiempo

Hemos dicho que la TR es una teoría sobre el movimiento, más bien en palabras de Zuluaga (2011), la TR es una teoría sobre la geometría del espacio-tiempo, puesto que es esta precisamente la que permite la descripción del movimiento. Es decir que el movimiento puede ser representado geoméricamente y desde la TR el espacio-tiempo es ese escenario en dónde ocurren los eventos. Retomando lo mencionado por Minkowski (1908), no es posible pensar en un evento que no esté ligado a un tiempo o a un lugar en el espacio, es decir, no tiene sentido hablar del espacio-tiempo si este no está asociado a eventos, y no es posible hablar de eventos que no estén asociados al espacio-tiempo: ambos se determinan entre sí.

Luego de analizar algunos diagramas de espacio-tiempo, los casos pudieron extraer información de la situación que allí se representaba. Por ejemplo, en cuanto al espacio, C4 menciona que “esa persona parte desde un punto hasta otro punto obviamente el espacio se ve afectado porque no está como por decirlo así en el mismo punto donde se encontraba antes.”. Para C1 “el objeto hace parte del espacio y a la vez va recorriendo un tiempo.”; hablamos de que los diagramas hacían alusión a un niño en un parque. Para C1 “el niño en el espacio está en el parque más en el tiempo no va a estar en el mismo lugar porque ha pasado tiempo [...] llegó a las 10 de la mañana al parque sigue en el mismo espacio, pero por ahí a las 4 de la tarde volvió a la casa y ahí ya cambiaría de ubicación.”.

Por su parte, C2 hace la siguiente relación: “digamos que el niño está en una cancha de fútbol, ¿sí o qué?, entonces digamos que el técnico le tiene previsto que va a meter dos goles en cierto determinado tiempo y él se mueve más en el espacio, o sea, la cancha y mete ocho goles en menos del tiempo que el entrenador dijo.”; para C4 “puede que ese niño como que

se haya como que movido mucho [...] en este gráfico, me lo imagino como... bueno, desde donde parte, que esté en tal parte y luego va a los columpios y va a otros diferentes juegos, o sea, que esté en diferentes espacios del parque más en la gráfico anterior me imagino al niño en la entrada del parque pero yendo a un punto determinado tipo los columpios.”; mientras que para C6 “[...] estuvo el mismo tiempo pero hizo más cosas”.

Estas discusiones permiten observar que los casos pueden extraer información de diagramas de espacio-tiempo aún sin haber tenido un acercamiento a ellos teóricamente.

4.1.2 El sistema de referencia y el fenómeno

Poco o nada se habla de los sistemas de referencia, de su importancia, de sus implicaciones y de por qué usamos los que usamos normalmente en los ejercicios de física; a pesar del uso que los casos han hecho de los sistemas de referencia en sus clases de física, se les dificultó hablar de ellos, lo que evidencia que sobre este concepto no se hace énfasis en las clases de física. Sin embargo, algunos como C1 dicen: “yo pienso que un punto de referencia es el primer lugar en una opción [...] uno lo entiende así explícitamente como el primer lugar en el que uno está para luego realizar un movimiento o algo por el estilo.”, mientras que para C5 “es algo para medir las posiciones.”; C3, haciendo referencia a la situación de transportarse en un bus, menciona: “yo digo que es dependiendo del punto de vista, si uno está en la casa el que se mueve es el bus pero si uno está en el bus aunque la casa esta estática la que se mueve es la casa.”. Respecto a este concepto, Einstein (1916) menciona que cualquier descripción espacial de un suceso o de un objeto consiste en especificar el punto de un cuerpo rígido (cuerpo de referencia) con el cual este coincide, y esto es válido no solo para la descripción científica, sino también para la vida cotidiana. Sobre esto, C3 afirma que “[...] todo depende del punto de vista.”.

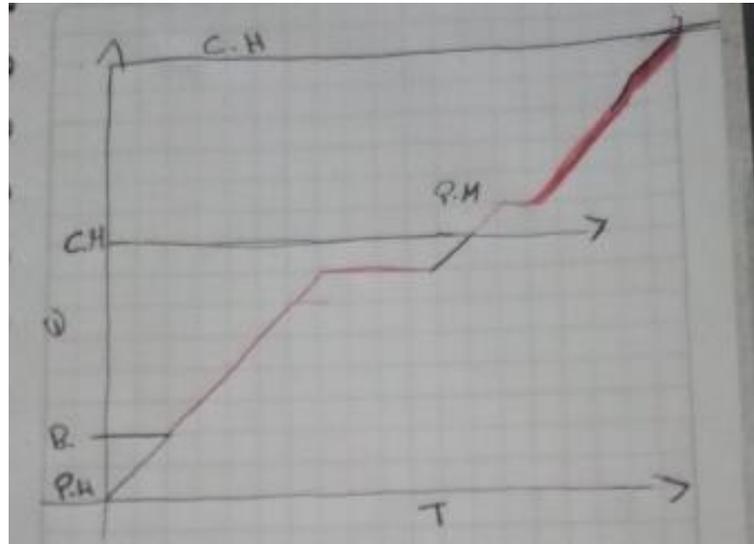
También, es importante retomar que desde la TR el sistema de referencia no determina el fenómeno. Al respecto C5 luego de observar un diagrama de espacio-tiempo rotado varias veces, al referirse a la recta indica que “es lo mismo pero lo que cambian son... pues, como la ubicación de los gráficos.” coincidiendo con Minkowski (1908) cuando este menciona que es posible dar cuenta de un fenómeno sin que este sea afectado por los mismos, es decir, que

el fenómeno no está determinado por el sistema de referencia. Al respecto, Einstein (1916) señala que las ecuaciones de la TR valen para cualquier cuerpo de referencia, sea cual fuere su estado de movimiento y desde la TR todos los sistemas de referencia inerciales son equivalentes. Es sencillo determinar y describir el movimiento cuando el sistema de referencia está quieto, sin embargo, aún es posible describir el fenómeno cuando el sistema de referencia está en movimiento, a pesar de que se ha privilegiado siempre un único sistema de referencia, externo al fenómeno, universal. Por ello, es necesario reflexionar sobre este concepto para un acercamiento a la TR.

A pesar de que esta idea no es muy intuitiva, los casos realizaron el ejercicio de describir una historia corta desde un sistema de referencia distinto al que es usado comúnmente en una clase de física. La historia trata de una princesa encerrada en un castillo esperando a que un príncipe llegue en un burro a su rescate. A continuación, se presentan los gráficos que construyeron algunos casos y ciertas afirmaciones que incluyeron en su descripción y que a juicio de la investigadora son de gran interés dado que indicaban cómo los casos estaban comprendiendo la situación.

Figura 6

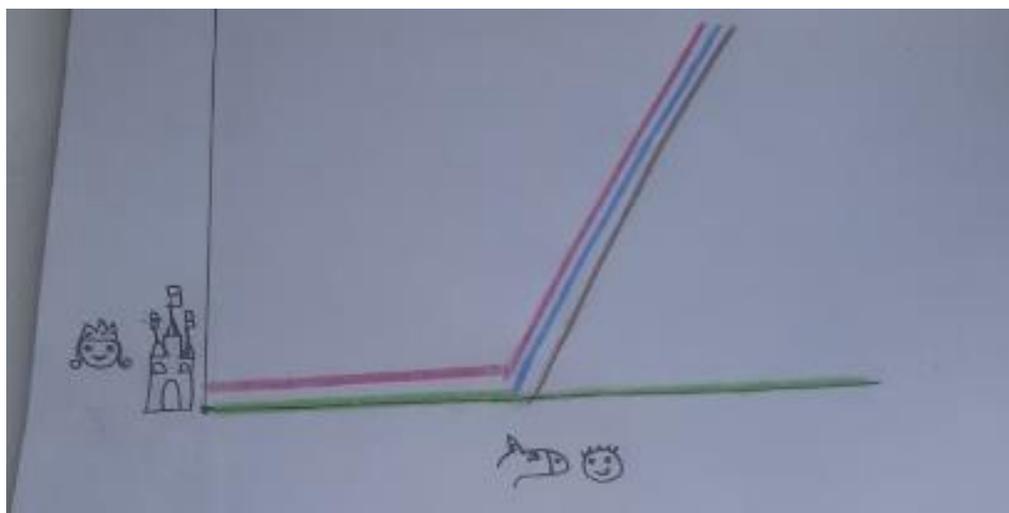
Caracterización de una situación desde otro sistema de referencia: C2



“Yo fui el castillo. El castillo estaba vivo y el veía todo, y ya los perdí de vista porque yo estoy quieto” (P.H: príncipe hombre, B: burro, C.M: castillo mujer, P.M: princesa mujer, C.H: castillo hombre, T: tiempo)

Figura 7

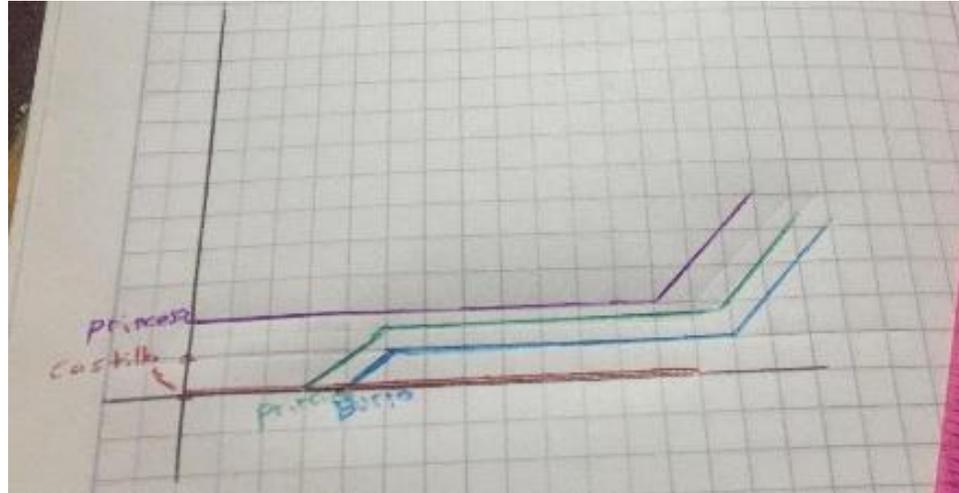
Caracterización de una situación desde otro sistema de referencia: C3



“Yo me lo puse desde el castillo, ellos llegaron hacia mí”.

Figura 8

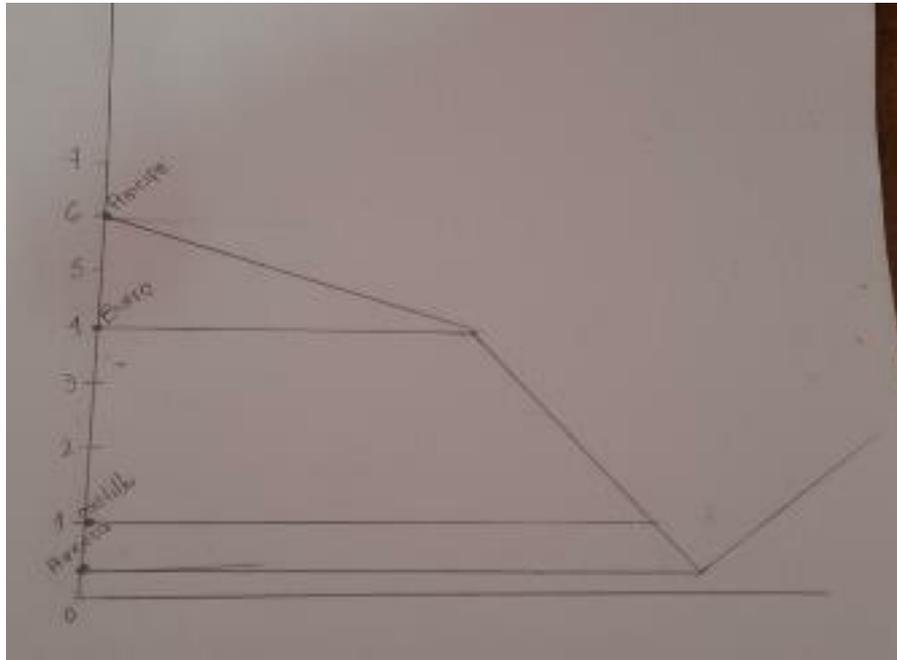
Caracterización de una situación desde otro sistema de referencia: C4



“Yo partí desde el castillo”.

Figura 9

Caracterización de una situación desde otro sistema de referencia: C5



“Yo lo puse desde la princesa. Puse la princesa y el castillo, pues, quietos”.

contar la historia desde diferentes puntos de vista. Esto posibilita la entrada a hablar de los diferentes sistemas de referencia, inerciales y no inerciales y por qué elegir uno sobre otro.

Igualmente, se evidencia cómo es posible tener un acercamiento a teorías como la TR con jóvenes que tienen poca formación en física, cómo estas discusiones privilegian una visión diferente de la ciencia, les permiten sentirse cercanos a la ciencia contemporánea, pero también se expone la necesidad del compromiso por parte de todo el sistema educativo en apoyar estas iniciativas puesto que el trabajo en poner en términos de la didáctica estos constructos teóricos es enorme y hay mucho por hacer.

4.2 Visión cultural de la ciencia para favorecer el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico: el caso de la TR

La construcción de esta idea surge a partir de algunas premisas que nos brindan la posibilidad de entender la ciencia como producto de la cultura. Entender la ciencia como forma de conocimiento es una de ellas. Respecto a la pregunta ¿qué es la ciencia? C1 afirma que “[...] la ciencia es la más avanzada en las escalas del conocimiento [...] a pesar de que sea comprobable no es cien por ciento exacta.”; por su parte, C2 indica que la ciencia es el conocimiento “más concreto”, mientras que C3 dice que la ciencia “es el conocimiento extenso que buscamos para resolver problemas de la vida.”; C5 asocia a la ciencia a “un conjunto de conocimientos” y C6 sostiene que son “conocimientos importantes”. Sus respuestas evidencian una coincidencia con la equivalencia entre ciencia y forma de conocimiento, y por lo tanto existe la posibilidad y la necesidad de discutir una visión de la ciencia como parte de la cultura en la formación en ciencias. Complementario a estas ideas cabe resaltar lo mencionado por Elkana (1983) cuando señala que: “la ciencia no se fundamenta sobre ninguna fuente única de conocimiento; la experiencia y los datos experimentales, las ideas claras y distintas, las consideraciones estéticas, las analogías, son, todas ellas, fuentes legítimas de conocimiento.” (p.18).

Otra premisa es el hecho indiscutible de que tenemos acceso a la ciencia en nuestra vida cotidiana. C1 hace referencia a esta idea cuando menciona que “la ciencia hace parte de nuestra vida, la modifica, la transforma y hace que estemos bien con nuestro entorno [...] todas las cosas que nos rodean básicamente tienen una base científica y entonces de cierta

forma tenemos que aprenderlas [...] incluso los medicamentos más simples como el acetaminofén tienen su base científica.”; C2 enuncia que “tenemos que tener un breve conocimiento de algunas cosas que hay y también saber que no nos engañan con falacias.”. Sobre esto C4 indica que “la ciencia se necesita literalmente casi para todo.” mientras que C5 dice que “[...] gracias a ella podemos usar y tener la mayoría de las cosas que tenemos [...] la ciencia siempre busca como... hacer aportes a la sociedad para facilitarles las cosas a las personas.”. A continuación, se muestra en la tabla 1 cómo los casos califican de 1 a 5 el grado de concordancia con las premisas expuestas, siendo 5 muy de acuerdo y 1 muy en desacuerdo. Los resultados muestran el reconocimiento por parte de algunos casos de la presencia y la importancia de la ciencia en la vida cotidiana.

Tabla 1

Premisa	C1	C2	C3	C4	C5	C6
La ciencia hace nuestra vida más saludable, más fácil y cómoda	4	4	3	4	4	3
La ciencia que me enseñan en el colegio me será útil en mi futuro	3	3	2	4	2	1
Las cosas que aprendo de ciencia en el colegio son útiles en mi vida cotidiana	4	4	2	4	2	1
La ciencia que me enseñan en el colegio me ha enseñado a cuidar mi salud y la de mi familia	4	4	3	4	3	1

La siguiente premisa se refiere a que la construcción y validación del conocimiento científico es posible gracias a la participación y el consenso entre personas, y esto es evidente al analizar cómo este se construye. Al respecto, C1 señala que “[...] la gente puede tener gustos por eso en general y entonces al tener gustos se van a generar como lazos, en lazos se generan ideas, en ideas se generan opiniones y así nuevas teorías científicas y cosas así.” mientras que C3, refiriéndose a la ciencia, indica que “entre más gente sepa de esta, más gente puede aportar conocimientos a la misma.” coincidiendo estos con Elkana (1983) y Shapin (1991) cuando mencionan que la validación de un conocimiento recae en el consenso de un grupo social o comunidad. Por su parte Elkana (1983) señala que “las teorías sobre la explicación, a fin de cuentas, se reducen a lo que el consenso social declara como una

explicación aceptable.” (p. 12), y para Shapin (1991) “el discurso sobre la realidad natural es un medio de producir conocimientos relativos a esta realidad, de reunir un consenso sobre estos conocimientos y delimitar dominios seguros en relación con otros más inciertos.” (p.1).

El caso de la construcción de la TR no es la excepción: su desarrollo científico fue posible gracias al trabajo y el consenso de muchas personas. Al respecto, C1 manifiesta que Einstein se apoyó “en muchos años anteriores de investigación, incluso se basó en la teoría de Newton y el electromagnetismo para dar idea de algunos errores y proponer su teoría [...] él no hubiera podido hacer solo todo lo que hizo, siempre tuvo que tener una ayuda y algo que sustentara todo lo que estaba haciendo[...] a Albert lo apoyaron mucho sus compañeros, Besso y el profesor, o algo así, lo apoyaban bastante con su teoría, entonces eso de cierta forma le dio como una base para decir bueno, si la gente me apoya con esto expongámoselo a más personas.”; C3 indica que el trabajo conjunto es útil para “compartir el pensamiento, el conocimiento y así llegar a la solución [...] varias personas buscando la solución a lo mismo, porque es mejor varias mentes que solo una, pues eso hace la solución más fácil [...] -en el caso de la TR-, gracias al trabajo en equipo lograron la construcción y divulgación.”. Para C5 “[...] entre más personas estuvieran involucradas la información iba a llegar a más personas.”; C6 puntualiza que Einstein “no era matemático, solo era físico, entonces tuvo que tener ciertas personas que lo ayudaran a desarrollar y plantear su teoría.”.

Todos los casos coinciden con el relato de Isaacson (2016) que deja entrever que al ser Einstein un físico y no matemático necesitó de la ayuda de varias personas para describir matemáticamente sus ideas y que la validación de personajes importantes como Minkowski y Planck ayudó a que la TR fuera legitimada entre otros físicos.

Por otro lado, en todas las discusiones realizadas en la aplicación de los instrumentos fue posible evidenciar la presencia de algunas habilidades de pensamiento crítico. La caracterización que hace Halpern (2008) sobre el pensamiento crítico permitió identificar cómo los casos hacían uso del razonamiento verbal y del análisis de los argumentos para exponer sus ideas, lo cual pone de manifiesto que estas discusiones sobre el carácter cultural de la ciencia y los aspectos de la NDC permiten el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico que en última instancia es el objetivo de la formación en ciencias. Estas discusiones, también respaldan la invitación que nos hace Lemke (2006) cuando menciona que

“deberíamos ofrecer a todos los estudiantes una educación científica que haga de la ciencia una auténtica compañera de otras formas de ver el mundo y una contribución esencial a su alfabetización multimedial y a sus habilidades de pensamiento crítico.” (p.6).

4.3 Aspectos de la NDC en la formación en ciencias: la historia como vínculo entre ciencia y sociedad en el caso de la TR

Vivimos en un mundo dominado por lo técnico-científico, lo cual evidencia relaciones entre ciencia y sociedad y en ese sentido surge la necesidad de una formación en ciencias que dé cuenta de estas. Estas relaciones parecen ser claras para algunos casos. Al respecto, C3 menciona que “[...] gracias a ella -la ciencia- es un antes y después en la historia.”, C4 piensa que “la ciencia tiene mucha influencia en la sociedad [...]”, y C5 indica que el objetivo de la ciencia es “[...] crear cosas nuevas y útiles para la sociedad [...] sí, la ciencia trabaja para facilitarle infinidad de cosas a la sociedad y para aportar a que muchas cosas avancen y esto sea beneficio para la sociedad.”. En palabras de Vásquez, Acevedo y Manassero (2004), la NDC incluye la reflexión sobre los métodos para validar el conocimiento científico, los valores implicados en las actividades de la ciencia, las relaciones con la tecnología, la naturaleza de la comunidad científica, las relaciones de la sociedad con el sistema tecnocientífico y las aportaciones de éste a la cultura y al progreso de la sociedad (p. 132).

En esta misma línea, es importante resaltar la relación que hacen los casos con la actividad científica y los asuntos políticos, lo que refuerza lo mencionado por Lemke (2006) cuando dice que es necesario “admitir la complicidad histórica de la ciencia con proyectos militares, políticos y comerciales inmorales y procurar cambiar la naturaleza y dirección de la ciencia en el futuro para tornar esa complicidad menos probable” (p.7). Para C1 “los científicos muy comúnmente son financiados por el gobierno para realizar sus experimentos [...] entonces surge la necesidad que genera buscar financiamiento [...]”; C2 evidencia estas relaciones cuando dice que “en la primera guerra mundial en la modificación de bombas nucleares[...] porque por ejemplo lo que pasó con Einstein era que si no apoyaba la guerra lo mataban y le tocó ayudar a hacer una bomba.”; C3 señala que “normalmente se busca solución científica a los problemas por petición del gobierno[...] casi siempre las investigaciones son a petición del gobierno ya sea por buscar un arma letal o una solución;

un caso no muy alejado es lo de la vacuna del COVID-19 que lo buscan las mismas universidades o potencias del mundo.”; para C4 “por ejemplo la participación de Einstein en la guerra, es una situación donde un hombre con bastante capacidad intelectual pudo haber causado un desastre masivo por intervenir.”; y C5 sostiene que “algunas veces hasta los mismos políticos deciden usar la ciencia de manera incorrecta y esto altera su desarrollo o función.”.

También los casos hicieron referencia a la objetividad de la ciencia, mencionando que ésta no es perfecta y que su impacto en la sociedad también puede tener connotaciones negativas. Al respecto, C1 indica que “[...] la ciencia en manos de alguien peligroso puede ser perjudicial.”; C2 refiere un ejemplo donde dice que a la finca de su abuela “[...] mandaron una avioneta y empezaron a fumigar con glifosato y mataron todos los cultivos[...] yo digo que la ciencia sí tiene más beneficios, pero cuando son contras, son contras feas, que son graves.”; C4 dice que “puede salir bien, como también puede traer consecuencias mayores[...] que los usan para beneficios de alguna causa ya sea beneficio propio.”; C5 resalta que en lo experimental “[...] de pronto algo salga mal y puede salir algo o alguien afectado por esto.”. Por su parte C6 dice que “si las personas la utilizan -la ciencia- para hacer el mal, sí.”.

Asimismo, estas discusiones propiciaron la posibilidad de resaltar la importancia de las mujeres en el desarrollo científico. Al respecto, C3 piensa que “[...] el papel de las mujeres tiene la misma importancia que el de los hombres, las mujeres también tienen descubrimientos muy interesantes.”; para C4 “las mujeres pueden desarrollar exactamente los mismos papeles que puede hacer un hombre, tienen la misma capacidad mental, intelectual y puede que, en algunos casos, el físico para esto.”; C5 indica que “las mujeres tienen la misma capacidad intelectual que los hombres para participar en la ciencia. Yo digo que es igual.” y C6 considera que “las mujeres en la ciencia juegan un papel sumamente importante y alentador para la población femenina que aún se siente reprimida a hacer libremente lo que les apasiona.”. En palabras de Navarro (2016) la presencia de las mujeres en el desarrollo científico y tecnológico sí ha existido, pero queda oculta por prejuicios y concepciones caducas de la historia.

Estas discusiones, respecto a las relaciones entre ciencia y sociedad y en general sobre aspectos de la NDC, evidencian la necesidad de incluir su estudio en la formación en ciencias:

es necesario conocer sobre historia de la ciencia. Bybee (citado en Gil y Vilches, 2001) invita a ayudar a las personas a desarrollar perspectivas de la ciencia y la tecnología que incluyan la historia de las ideas científicas, la naturaleza de la ciencia y la tecnología, a la vez que el papel de ambas tanto en la vida personal como social. Sobre esto, C2 indica que “[...] eso es para reflexionar para que uno no siga haciendo eso pero el ser humano es así uno la sigue haciendo.”, mientras que C3 sostiene que “hay que indagar más en ella para que no se enseñe siempre lo mismo y así el conocimiento se vuelve más amplio.”; C4 menciona que “es muy importante conocer esos primeros pasos, los primeros conocimientos donde se desarrolla, pues esta rama y, o sea, yo creo que sería muy bueno que se implementara esto en los colegios[...] que se implementaran las nuevas ciencias también, o sea, que se viera lo antiguo pero para tener la historia, saber de dónde salió y por qué.”; por su parte C5 puntualiza que en el caso de la TR “podríamos reflexionar sobre de qué manera esta situación afectó los avances de la ciencia de Einstein.”.

Por último, se muestra en la tabla 2 cómo los casos califican de 1 a 5 el grado de concordancia con las premisas expuestas, siendo 5 muy de acuerdo y 1 muy en desacuerdo. Los resultados muestran el reconocimiento por algunos casos de la importancia de la ciencia en la sociedad.

Tabla 2

Premisa	C1	C2	C3	C4	C5	C6
La ciencia es importante para la sociedad	4	4	4	4	4	3
Yo creo que todos deberían aprender ciencia en el colegio	4	4	3	3	4	2

Capítulo cinco. Implicaciones didácticas

En este capítulo se presenta una reflexión que surge del proceso de la práctica y como consecuencia de esta investigación. También se presenta una propuesta didáctica como tentativa para el acercamiento a la TR, con base en los hallazgos reportados en el capítulo anterior, como también en las reflexiones que suscita esta investigación sobre la formación en ciencias.

5.1 Reflexiones sobre la enseñanza de la ciencia

Estas reflexiones surgen a partir de la formación docente que me brinda el espacio universitario, en especial en los cursos de epistemología, los seminarios que se desarrollaron a lo largo del proceso de investigación y las intervenciones en el centro educativo. Esta formación me permitió entender que, como maestra de ciencias, tener una postura crítica frente a lo que significa la actividad científica no es de poca monta, sino que por el contrario tiene importantes implicaciones en el qué y cómo se enseña la ciencia.

A continuación, desarrollaré un breve esbozo de estas ideas. Partiré de la premisa de que dependiendo de cómo se entienda el mundo real, se explica el mismo; en el caso de la ciencia, dependiendo de cómo se entienda el mundo real, se entenderá cómo la ciencia lo explica, lo describe: como forma objetiva de describir el mundo real o como forma de conocimiento humano que no es objetivo y que, por lo tanto, puede ser sometido a cambios.

Si echamos un vistazo a la historia de la ciencia, podremos notar que muchas ideas que hoy nos suenan absurdas, eran vistas con normalidad por una comunidad determinada; por ejemplo, el modelo geocéntrico del mundo era aceptado con tanta naturalidad por la comunidad que cuando alguien quería proponer una nueva teoría que explicara el fenómeno de una manera diferente no era aceptada con aplausos inmediatamente, sino que por el contrario, tenía que pasar por un largo proceso para su aprobación, y era precisamente el consenso de esa comunidad lo que terminaba dándole valor a la teoría misma. Esto me hace pensar que el valor de verdad no está necesariamente en los hechos sino en las

representaciones que construimos de ellos; es decir que el conocimiento, incluso el científico, no escapa de estas connotaciones sociales y culturales.

Volviendo al ejemplo anterior, con la información que nos indica nuestros sentidos es fácil pensar que la tierra es inmóvil y que todos los demás astros se mueven alrededor nuestro, también es fácil entender entonces por qué esta premisa reinó durante más de mil años. Si pensamos que es posible representar el mundo real de manera objetiva y que, en consecuencia, la ciencia puede ser objetiva no podríamos aceptar que ha sido posible construir otras representaciones que describan mejor el movimiento de los astros y que es posible incluso cambiar por otras mejores las que conocemos actualmente.

Por otro lado, vale la pena mencionar cómo la actividad científica se entiende tergiversada incluso desde el mal uso del lenguaje cotidiano; por ejemplo, la palabra construir es diferente a descubrir y, sin embargo, se utiliza mucho el término descubrir para blindar la producción científica como verdad absoluta: el término “científicamente comprobado”, le da alta importancia al producto del cual se está hablando. Pareciera que se despreciara todos los desaciertos y errores que la ciencia ha tenido a lo largo de la historia. Además, no debemos olvidar que detrás de ver la ciencia como absoluta hay intereses económicos y políticos que no se discuten. Esto hace que las producciones científicas no sean vulnerables de ser cuestionadas por las personas del común.

Así, evidentemente las posiciones que tenga el maestro de ciencia sobre estas cuestiones determinarán también su forma de enseñarla, de manera que la enseñanza tradicional no está caracterizada por lo que pasa en el aula solamente sino por la postura o la intención que tiene el maestro. Este debe ser consciente de sus concepciones del mundo y de sus supuestos epistemológicos, por ello, es de vital importancia que estas discusiones sobre la ciencia y su enseñanza se refuercen en la formación académica de los maestros del país y del mundo.

También, me interesa resaltar el objetivo que desde el MEN se plantea para la formación en ciencias y en ese sentido señalar que los maestros de ciencias deberíamos apropiarnos de la influencia que tenemos en la formación de sujetos con capacidad de desarrollar habilidades de pensamiento crítico, sujetos que serán miembros activos de una comunidad, que puedan discutir y pensar críticamente la información de su entorno, que

puedan construir soluciones y que puedan convivir en un espacio donde el otro también es importante y reconocido.

A partir de estas reflexiones y de la experiencia obtenida en el proceso investigativo, se presenta un ciclo didáctico como propuesta de acercamiento a la TR.

5.2 Propuesta de ciclo didáctico

5.2.1 Recomendaciones iniciales

El profesor Zuluaga (2011) ha venido adelantando importantes avances en el trabajo de didactizar la TR desde un acercamiento geométrico para posibilitar su enseñanza en jóvenes. Así, conviene invitar al lector estudiar algunos de sus trabajos como complemento al desarrollo de este ciclo didáctico³.

La propuesta central de este trabajo es reflexionar sobre la forma en la que usualmente se enseña la TR puesto que su complejidad matemática impide que esta pueda ser enseñada en instituciones de educación media; en su lugar nos centraremos en introducir el concepto de espacio-tiempo de Minkowski como una herramienta que permite un acercamiento conceptual a la TR desde la representación de situaciones cotidianas. Es importante hacer énfasis en que acercarnos a esta teoría implica un estudio de las unidades de medida que la conforman. De aquí pueden surgir preguntas de discusión con los estudiantes como, ¿qué magnitudes se pueden medir?, ¿son estas universales?, ¿dependen del observador?, ¿qué otras nuevas magnitudes debemos aprender en relación con la TR?

5.2.2 Estructuración del ciclo didáctico:

Nombre del ciclo: Análisis de aspectos de la NDC para el acercamiento a principios de la TR desde la representación de situaciones cotidianas.

Grado: 10° (Décimo grado)

Número de sesiones: 10 (diez)

Estándares:

Preliminares desde noveno:

³ Se sugiere revisar el curso de relatividad para todos (2017) disponible en <https://cutt.ly/sbtBlht>; asimismo, revisar su conferencia sobre la relatividad de lo cotidiano (2011) disponible en <https://cutt.ly/dv6kg2L>

- Formulo preguntas específicas sobre una observación, sobre una experiencia o sobre las aplicaciones de teorías científicas.
- Formulo hipótesis, con base en el conocimiento cotidiano, teorías y modelos científicos.
- Identifico y verifico condiciones que influyen en los resultados de un experimento y que pueden permanecer constantes o cambiar (variables).
- Propongo y sustento respuestas a mis preguntas y las comparo con las de otras personas y con las de teorías científicas.

En décimo:

- Reconozco que los modelos de la ciencia cambian con el tiempo y que varios pueden ser válidos simultáneamente.
- Reconozco y acepto el escepticismo de mis compañeros y compañeras ante la información que presento.
- Escucho activamente a mis compañeros y compañeras, reconozco otros puntos de vista, los comparo con los míos y puedo modificar lo que pienso ante argumentos más sólidos.
- Modelo matemáticamente el movimiento de objetos cotidianos a partir de las fuerzas que actúan sobre ellos.

Objetivo General:

Estudiar algunos principios de la TR desde la representación de situaciones cotidianas haciendo uso del análisis de aspectos de la NDC para favorecer el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico.

Objetivos específicos:

- Indagar conocimientos previos de los estudiantes en la representación de situaciones cotidianas.

- Explorar aspectos de la NDC que permitan evidenciar la necesidad de actualizar los contenidos en ciencias, analizar otras teorías científicas críticamente y evidenciar habilidades de pensamiento crítico.
- Analizar el concepto de espacio-tiempo de Minkowski para un acercamiento a principios de la TR.

Fase de exploración

Esta fase tiene como objetivo indagar sobre qué saben los estudiantes acerca de algunos conceptos relacionados con principios de la TR en la representación de situaciones cotidianas, permitiendo al maestro identificar las necesidades o falencias frente a estos conceptos.

- Actividad 1. Discusión sobre conceptos generales: tiempo estimado 30 minutos.
En esta actividad se plantean preguntas al grupo sobre algunos conceptos relacionados con la descripción física del movimiento. Se sugiere realizar esta actividad individualmente y recoger la información escrita.
- Actividad 2. Descripción de situaciones cotidianas: tiempo estimado 60 minutos.
En esta actividad se problematiza algunas situaciones cotidianas con relación a la TR. Para esto, se sugiere dividir el grupo en pequeños grupos de 3 personas y posteriormente discutir entre todos, las conclusiones a las que llegaron.
- Actividad 3. Diagramas de espacio-tiempo: tiempo estimado 40 minutos.
En esta actividad se analiza qué información pueden extraer los estudiantes de una situación representada en un diagrama de espacio-tiempo. Se sugiere realizar esta actividad de manera individual.
- Evaluación: debido al carácter de indagación de esta fase, la evaluación se reducirá a la participación de los estudiantes.

Fase de nuevos modelos explicativos

Esta fase tiene como objetivo explorar aspectos de la NDC que permitan discutir alrededor de la crisis científica del siglo XIX y refuercen la idea del porqué es necesario acercarse

nuevas teorías científicas. De hecho, se invita a la posibilidad de echar mano de la interdisciplinariedad entre ciencias naturales y ciencias sociales para desarrollar este punto.

- Actividad 1. Concepciones sobre la actividad científica: tiempo estimado 40 minutos.
Esta actividad se propone con el fin de indagar cómo es entendida la actividad científica. Para ello, se propicia un debate con preguntas intencionadas a este fin. Se sugiere dividir el grupo en pequeños grupos de 3 personas y posteriormente discutir entre todos, las conclusiones a las que llegaron.
- Actividad 2. Aspectos de la NDC en el desarrollo de la TR: tiempo estimado 40 minutos.
Esta actividad se propone con el fin de indagar cómo son identificados aspectos de la naturaleza de la ciencia como la historia y la sociología en la TR y mostrar cómo esta teoría surge a partir de la crisis de la física clásica. Para ello, se muestra un texto biográfico de Einstein y a partir de este se propicia un debate con preguntas intencionadas a ese fin. Se sugiere dividir el grupo en pequeños grupos de 3 personas y posteriormente discutir entre todos, las conclusiones a las que llegaron.
- Evaluación: participación en las discusiones.

Fase de Estructuración

Esta fase tiene como objetivo acercarse principios de la TR desde el concepto de espacio-tiempo de Minkowski.

- Actividad 1. Conceptualización sobre diagramas de espacio-tiempo: tiempo estimado 60 minutos (lectura).
En esta actividad se presenta un texto al estudiante sobre los diagramas de espacio-tiempo y se le pide realizar un mapa conceptual de la lectura. Se sugiere realizar la actividad de manera individual.
- Actividad 2. Descripción de situaciones cotidianas: tiempo estimado 40 minutos.
En esta actividad se problematiza algunas situaciones cotidianas con relación a la TR. Para esto, se sugiere dividir el grupo en pequeños grupos de 3 personas y posteriormente discutir entre todos, las conclusiones a las que llegaron.
- Actividad 3. Diferentes sistemas de referencia: tiempo estimado 30 minutos.

En esta actividad se presenta a los estudiantes una situación representada en diferentes diagramas de espacio-tiempo, es decir, desde distintos sistemas de referencia y se discute sus diferencias y/o similitudes. Se sugiere realizar en pequeños grupos de 3 personas.

- Actividad 4. Representación de una situación desde diferentes sistemas de referencia: tiempo estimado 40 minutos.

En esta actividad se presenta una historieta a los estudiantes y se muestra la representación geométrica pide representarla en un diagrama de espacio-tiempo desde un sistema de referencia distinto a uno externo a la historia. Se sugiere realizar la actividad individualmente.

- Evaluación: Comparación de la actividad 3 en fase de exploración y de estructuración. Se espera que después de la revisión teórica el estudiante tenga elementos para dar respuestas más acertadas. También conviene evaluar las representaciones gráficas realizadas en la actividad 4.

Fase de aplicación a nuevos contextos

En esta fase se sugiere propiciar discusiones centradas en aspectos de la NDC para dar cuenta de las relaciones entre ciencia y sociedad y cómo estas pueden ser extendidas desde otras ramas del conocimiento científico.

Por otro lado, se sugiere introducir aquí el concepto de métrica de Minkowski.

- Evaluación: participación en las discusiones.

Capítulo seis. Consideraciones finales.

A partir del análisis de la información recolectada desde la aplicación de los instrumentos, pude identificar que algunos elementos del desarrollo del concepto de espacio-tiempo en la obra de Hermann Minkowski posibilitaron a los participantes un acercamiento a la TR sin tecnicismos matemáticos complejos. Este desarrollo geométrico brinda posibilidades de un mayor acercamiento conceptual a la TR, por lo cual invito al lector a seguir el desarrollo de estas propuestas didácticas esbozadas en el capítulo 5.

De igual manera, me interesa señalar que las actividades que propiciaron las discusiones alrededor de las concepciones de ciencia y algunos aspectos de la NDC presentes en la TR resultaron interesantes en tanto los participantes mostraron una posición de escucha al otro, pero al mismo tiempo defendieron sus ideas con argumentos; además los participantes realizaron un análisis muy interesante de las situaciones representadas en los diagramas de espacio-tiempo sin formación avanzada en física. Esto me permite considerar que es posible llevar al aula estas nuevas teorías que están presente en la contemporaneidad y que por lo tanto su estudio, incluyendo aspectos de la NDC, posibilita el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico.

En cuanto a la propuesta didáctica planteada en el capítulo cinco, es necesario puntualizar que, a raíz de que en este trabajo de investigación se propone un acercamiento conceptual a la TR a través del concepto de espacio-tiempo de Minkowski, se sugiere continuar trabajando en cómo medir longitudes en un diagrama de espacio-tiempo haciendo uso de la métrica de Minkowski, qué propiedades tiene este espacio geométrico, qué nuevas variables son importantes en la representación de situaciones en este. Para este propósito sugiero seguir el trabajo propuesto por León, E. (2013), del cual se construyó una patente de un instrumento didáctico llamado Regla M que permite hacer medidas de intervalos entre dos puntos en el espacio-tiempo y de otras propiedades. Esta patente se encuentra aquí <https://cutt.ly/ubtBwHo>

Igualmente, el desarrollo de esta investigación invita a reflexionar sobre varios asuntos. En primer lugar, estamos ante la necesidad de que la enseñanza de las ciencias sea una actividad intencionada, y que se evidencie el para qué de ella, lo cual finalmente es

aportar a la formación de sujetos capaces de desenvolverse en su entorno y pensar críticamente. En este sentido, el maestro de ciencias debe ser un maestro que siempre esté reflexionando sobre su quehacer, y estas reflexiones deben ser reforzadas desde la formación docente de los futuros maestros y maestras de ciencias.

El incluir el análisis de los aspectos de la NDC en la enseñanza de las ciencias posibilita construir una visión crítica de la actividad científica y problematizar sus relaciones con la sociedad actual, permite entenderla como una actividad humana susceptible de cambios y modificaciones, también analizar otras formas de ver y explicar el mundo que habitamos. Asimismo, llevar al aula situaciones cotidianas que se acercan a la experiencia de los estudiantes brindan elementos que aportan a la construcción de conocimiento.

Finalmente, la necesidad de actualizar los contenidos de física que son llevados al aula requiere de maestros investigadores, productores de elementos que aporten a la didáctica de la enseñanza de las ciencias, construyendo herramientas para que nuestros jóvenes puedan acceder a estas teorías sin tener una formación avanzada en física.

Referencias

- Acevedo, J. A., Vázquez, A., Martín, M., Oliva, J. M., Acevedo, P., Paixão, M. F. y Manassero, M. A. (2005). *Naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica*. En Eureka, n.º 2, 2, pp. 121-140
- Einstein, A. (1916). *Sobre la teoría de la relatividad*. Escaneado por C. Alado. Recuperado de <https://cutt.ly/hnITDxN>
- Einstein, A. (1985). *Sobre la teoría de la relatividad y otras aportaciones científicas*. 1st ed. Madrid: Sarpe, pp.40-78.
- Elkana, Y. (1983). *La ciencia como sistema cultural: una aproximación antropológica*. Boletín Sociedad colombiana de epistemología, Vol III 10-11, pág. 65-80.
- Ennis, R. (1987). *Critical thinking and the curriculum*. En Thinking Skills Instruction: Concepts and Techniques, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, p. 40-48
- Fourez, G. (2005). *Alfabetización científica y tecnológica: acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias*. 1 edición Buenos Aires p. 15
- Furió, C., Vilches, A., Guisasola, J. y Romo, V. (2001). *Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la secundaria obligatoria. ¿alfabetización científica o preparación propedéutica?* Enseñanza de las ciencias, 2001, 19 (3), 365-376
- Garritz, A. (2006). *Naturaleza de la ciencia e indagación: cuestiones fundamentales para la educación científica del ciudadano*. Revista iberoamericana de educación. N.º 42 (2006), pp. 127-152
- Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C. y Martínez-Torregrosa, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. 1st ed Editorial Horsori Barcelona, p. 78
- Gil, D., Senent, F. y Solbes, J. (1985). *Análisis crítico de la introducción de la física moderna en la enseñanza media*. Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, pp. 73-73, recuperado de <https://cutt.ly/0v6w34b>
- Gil, D. y Vilches, A. (2001). *Una alfabetización científica para el siglo xxi obstáculos y propuestas de actuación*. Publicado en Investigación en la Escuela, 43, 27-37
- Gil, D., y Vilches, A. (2004). *Contribución de la ciencia a la cultura ciudadana*. Cultura y Educación 16(3), 259-272
- Halpern, D. (2006). *The Halpern Critical Thinking Assessment (HCTA)*. Recuperado de <https://cutt.ly/Sv6wVxY>

- Harlpen, D. (2008). *Is the intelligence critical thinking? Why we need a new definition of intelligence* en *Extending intelligence. Enhancement and new constructs*. 1st ed. Taylor & Francis Group, LLC
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. Quinta edición McGraw-Hill / Interamericana editores, s.a. de c.v. México D.F.
- Hodson, D. (1993). *In Search of a Rationale for Multicultural Science Education*. *Science Education*, 77 (6): 685-711
- Institución Educativa Comercial de Envigado (2019). Proyecto Educativo Institucional (PEI)
- Isaacson, W. (2016). *Einstein, su vida y su universo*. Traducido por Ramos, F. J. 1st ed Editorial Debate
- Jiménez, M. P. (2010). *10 ideas Clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. 1st ed. Barcelona: GRAÓ, de IRIF, S.L
- Lagowski, J. J. (1991). *Scientific literacy revisited* en *Journal of Chemical Education* Volume 68 Number 9 September 1991 p. 713
- Lemke, L. (2006). *Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir*. *Enseñanza de las ciencias*, 2006, 24(1), 5–12
- León, E. (2013). Elementos para una nueva didáctica de la Teoría de la Relatividad: un enfoque geométrico. Tesis de Maestría, Universidad de Antioquia.
- Mach, E. (1948). *Conocimiento Y Error*. 1st ed. Buenos Aires: Espasa Calpe, pp.124
- Manassero, M. A. y Vásquez, A. (2017). *¿Hay contenidos de naturaleza de la ciencia y la tecnología y pensamiento crítico en los currículos (españoles) actuales?* X congreso internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias sevilla 5-8 de septiembre de 2017 p. 510
- Marco, B. (1997). *La alfabetización científica en la frontera del 2.000* en Kikiriki. Cooperación educativa, ISSN 1133-0589, N° 44-45, 1997 (Ejemplar dedicado a: Aprender ciencias en la Escuela: Ciencias, Tecnología y Sociedad), págs. 35-42
- Martínez, L. y Parga, D. (2013). *La emergencia de las cuestiones sociocientíficas en el enfoque CTSA*. *góndola issn 2145-4981 vol 8 no 1 enero-julio 2013 pp. 23- 35*
- MEN. (2004). *Formar en ciencias: ¡el desafío!* © Ministerio de Educación Nacional
- MEN. (2016). *Derechos básicos de aprendizaje V.1 Ciencias naturales*. Recuperado de

- <https://cutt.ly/Gv6wDI7>
- MEN. (2006). Estándares básicos de competencias. Recuperado de <https://cutt.ly/kbagFz>
- Minkowski, H. (1908). *Space and time, Minkowski's papers on relativity*. © 2012 by Minkowski Institute Press. Recuperado de <https://cutt.ly/lv6wYEz>
- Mockus, A. (1989). *Formación básica y actitud científica*. Educación y Cultura ISSN 0120716 17, pp 11- 16. Recuperado de <https://cutt.ly/0v6wm2q>
- Morales, L. C. (2014). *El pensamiento crítico en la teoría educativa contemporánea*. Revista Electrónica “Actualidades Investigativas en Educación” Volumen 14, Número 2, ISSN 1409-4703
- Navarro, S. (2016) *Análisis del papel de la mujer en la ciencia y su transmisión durante la educación primaria*. Universidad de Valladolid. Recuperado de <https://cutt.ly/dv6wkMm>
- Pessoa, A. M. y Castro, R. S. (1992). *La historia de la ciencia como herramienta para la enseñanza de física en secundaria: un ejemplo en calor y temperatura*. En enseñanza de las ciencias, 1992, 10 (3), 289-294
- Popper, K. (1975). *La ciencia normal y sus peligros*. Lakatos, I. y Musgrave, A. (eds.), “La crítica y el desarrollo del conocimiento científico”, Barcelona, Grijalbo, 1975, pp. 149-158
- Shapin, S. (1991). *Una bomba circunstancial, la tecnología literaria de Boyle*. Tomado de *La scienctellequ'elle se fait*, Michel Callon y Bruno Latour (editores), La découverte, París, 1991. Traductor: Germán Pineda. Revisión de Jorge Charum
- Stake, R. E. (1999). *La investigación con estudio de casos*. Segunda edición. Ediciones Morata, S. L Mejía Lequica 12. 28004 Madrid
- Tamayo, O. E., Zona, R. y Loaiza, Y. E. (2015). *El pensamiento crítico en la educación. Algunas categorías centrales en su estudio*. Revista Latinoamericana de Estudios Educativos, 11(2), 111-133
- Vázquez, A., Acevedo, J. A. y Manassero, A. (2004). *Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: evidencias e implicaciones para su enseñanza*. Revista Iberoamericana de Educación (ISSN: 1681-5653)
- Villarini, A. (2003). *Teoría y pedagogía del pensamiento crítico*. Perspectivas psicológicas, volúmenes 3 – 4, año iv
- Zuluaga, J. I. (2011). *La teoría de la relatividad en la vida cotidiana*. Revista Universidad De Antioquia, (306). Recuperado de <https://cutt.ly/0v6wtWv>

Zuluaga, J. I. (2017). Relatividad para todos. Notas en construcción

Anexos

Anexo 1. Matriz de análisis construida a partir de la aplicación del primer instrumento

Categorías	Razonamiento verbal-Análisis de los argumentos				
	Ciencia como forma de conocimiento	La ciencia vista como causante de posibles daños	La ciencia en lo cotidiano	La ciencia como parte de la cultura	Teoría científica como construcción de consensos
Casos					
Caso 1	<p><i>La base más avanzada en las escalas del conocimiento ... Lo digo porque principalmente la humanidad se basaba en mitos, luego se basaba... pues en leyendas, luego en supersticiones, después de supersticiones creo que era la religión, después de la religión la filosofía, después de la filosofía no me acuerdo muy bien quien... cuál era, pero la última es la ciencia, se puede decir. ... Dina otra cosa que es importante destacar es que la ciencia a pesar de que sea</i></p>	<p><i>Sí, debido que aunque sea algo muy poderoso, debe ser tratado con delicadeza ya que la ciencia en manos de alguien peligroso puede ser perjudicial.</i></p>	<p><i>Sí, debido a que la ciencia hace parte de nuestra vida, la modifica, la transforma y hace que estemos bien con nuestro entorno.</i></p>	<p><i>...Todos los días de nuestras vidas ya que siempre se generan avances en la ciencia ... Sí, es importante todos los días eh... todas las cosas que nos rodean básicamente tienen una base científica y entonces de cierta forma tenemos que aprenderlas... ... Totalmente, incluso los medicamentos más simples como el acetaminofén tienen su base científica, incluso nuestra propia anatomía.</i></p>	<p>Pues no solamente en el hecho de que aportes a la sociedad, sino que también la gente puede tener gustos por eso en general y entonces al tener gustos se van a generar como lazos, en lazos se generan ideas, en ideas se generan opiniones y así nuevas teorías científicas y cosas así, o sea, uno a veces con los amigos por ejemplo dice: parece, ¿cuál es el infinito de infinito? y uno dice como ¡parce!, y es una estupidez, pero uno lo piensa ¿cierto? ...Y lo peor es que uno se queda ahí como un estúpido pensando: bueno, ¿cuál es el infinito del infinito? Jajaja</p>

	<p>comprobable no es cien por ciento exacta, porque siempre... o sea, porque nunca va a haber perfección en algo que uno haga ¿cierto? Y por ejemplo en la ciencia no es la excepción. Voy a dar un ejemplo puntual y sencillo y reciente: la vacuna del covid está; listo, tiene un noventa y algo por ciento de probabilidad, pero nunca va a llegar al cien porque van a haber otros factores que van a evitar que llegue a ese cien por ciento, y así es con todo lo que hay en general.</p>				
<p>Caso 2</p>	<p>...es como el más concreto porque muestra evidencia de todo.</p>	<p>o también digamos que, que utilicen la... la ciencia como en contra ya en una guerra por decir armas químicas y todo eso ya sería una desventaja; ahí</p>	<p><i>Sí, porque tenemos que tener un breve conocimiento de algunas cosas que hay y también saber de que no nos</i></p>	<p><i>si porque la sociedad esta obligada a conocer análisis de nuestras raíces y saber diversos temas ... Como por decir el tema</i></p>	

		<p>que están utilizando la ciencia para mal ...Hablando de eso mi abuela me contó una historia... pues, ella es del campo y hubo un tiempo en el que la economía del país estaba mal entonces no tenían como responderle al campesino de todo lo que era el sembrado y mandaron una avioneta y empezaron a fumigar con glifosato y mataron todos los cultivos... Y ya mi abuela... y mi abuela no tenía... no tenían como responderle ya al ICA, porque el ICA es el que da la semilla y todo eso es prestado. ... Por decir la de la ...si la ciencia tiene más beneficios que contras y yo digo que si tiene más beneficios, pero cuando son contras son contras feas, que son graves</p>	<p><i>engañan con falacias</i> ...Sí, yo digo que ellos tienen que tener como un breve conocimiento de todo pues porque ¿algunas veces usted no ha visto que los engañan? entonces pa que no se dejen engañar así de feo</p>	<p>así de la muerte, que uno algunas veces como que ponerse a pensar todo eso y uno le aparecen muchas teorías pero no encontrar respuesta concreta uno como que lo desespera</p>	
Caso 3	<p><i>la ciencia es... El conocimiento</i></p>			<p><i>la ciencia es importante porque... Sí,</i></p>	<p>Caso 3: Es importante saber de ciencia porque...</p>

	<i>extenso que buscamos para resolver problemas de la vida.</i>			<i>porque hay muchos avances gracias a ella y es un antes y después en la historia</i>	<i>Sí, porque entre más gente sepa de esta más gente puede aportar conocimientos a la misma</i>
Caso 4	si lo que dice caso 3, es como que siempre como que se ha basado en darle una explicación a algo, a algo que hace años atrás no tenía como una explicación, entonces lo relacionaban con otras creencias o como decía caso 1, con otros conocimientos.	<i>Claro que sí, porque la ciencia también se trata de experimentar, al hacer esto hay como una clase de juego aleatorio en el cual es muy incierto lo que pueda pasar, es decir. Como puede salir bien, como también puede traer consecuencias mayores ... Sí, yo considero que también esta esa parte de... de riesgo donde usan como las armas químicas y biológicas ya sean virus que sean creados o modificados en los que los usan para beneficios de alguna causa ya sea beneficio propio</i>	Pues yo considero que la ciencia siempre se ha visto se necesita literalmente casi para todo porque es como... va desde lo más lógico hasta lo más avanzado ya sea que uno diga que bueno, es ciencia que prendas una vela, tú la soplas: eso es ciencia, o haya fuego y le hechas agua, se apaga, ¡sigue siendo ciencia! va desde lo más básico, desde lo más lógico hasta lo más importante, lo más relevante.	<i>Claro que sí, considero que la ciencia tiene mucha influencia en la sociedad, ya que gracias a esta la ciencia avanza tanto, porque es para esta que se trabaja y se trata de buscar soluciones.</i>	
Caso 5	<i>Es un conjunto de conocimientos para estudiar algo en específico que debe pasar por</i>	<i>Sí, al momento de experimentar para hacer algún estudio, las cosas pueden fallar e incluso</i>	<i>Si, considero que es super importante, pues gracias a ella hemos podido conocer</i>	<i>Si, siempre nos puede servir en algún momento, sirve para avanzar en investigaciones</i>	

	<i>muchas pruebas y experimentos para poder decir, que gracias a la ciencia es algo exacto o algo comprobable ...pues no, que es como los conocimientos más exactos que usted sabe que puede comprobar y que hay estudios respecto a eso</i>	<i>hacer daño en algo o a alguien ... pues yo lo diría mas como en la fase de experimentación pues no sé... como de algún estudio que se esté haciendo y de pronto algo salga mal y puede salir algo o alguien afectado por esto</i>	<i>muchas de las cosas que existen, gracias a ella podemos usar y tener la mayoría de las cosas que tenemos y adquirir conocimientos basados en estudios científicos y poder decir que son completamente reales y comprobables ...sí, Pues que la ciencia siempre es como... busca como hacer aportes a la sociedad para facilitarles las cosas a las personas.</i>	<i>y crear cosas nuevas y utiles para la sociedad ...Si, la ciencia trabaja para facilitarle infinidad de cosas a la sociedad y para aportar a que muchas cosas avancen y esto sea beneficio para la sociedad.</i>	
Caso 6	<i>Posiblemente sí, puede que muchos no crean en ella, pero son conocimiento importantes.</i>	<i>Si las personas la utilizan para hacer el mal, sí</i>			
Asertos	Entender la ciencia como forma de conocimiento. Al respecto C1 menciona que la ciencia es la más avanzada en las escalas del conocimiento y que a pesar	La ciencia puede causar daños Al respecto C1 indica que <i>la ciencia en manos de alguien peligroso puede ser perjudicial;</i> C2 menciona un ejemplo donde dice que a la	Tenemos acceso a la ciencia en nuestra vida cotidiana Al respecto, c1 indica que <i>la ciencia hace parte de nuestra vida, la modifica, la transforma y</i>	La ciencia tiene relaciones estrechas con lo social Al respecto C1 indica que <i>Caso 2 indica que ... Como por decir el tema así de la muerte, que</i>	La ciencia es posible gracias al consenso entre personas Al respecto C1 indica que <i>la gente puede tener gustos por eso en general y entonces al tener gustos se van a generar como lazos, en lazos se</i>

	<p>de que sea comprobable no es cien por ciento exacta; C2 menciona que es el conocimiento más concreto; C3 dice que la ciencia es el conocimiento extenso que buscamos para resolver problemas de la vida; C5 refiere la ciencia a un conjunto de conocimientos y C6 indica que son conocimientos importantes.</p>	<p><i>finca de su abuela mandaron una avioneta y empezaron a fumigar con glifosato y mataron todos los cultivos... yo digo que si tiene mas beneficios, pero cuando son contras son contras feas, que son graves; Caso 4 dice que Como puede salir bien, como también puede traer consecuencias mayores... que los usan para beneficios de alguna causa ya sea beneficio propio; Caso 5 dice que en lo experimental de pronto algo salga mal y puede salir algo o alguien afectado por esto; caso 6 dice que Si las personas la utilizan para hacer el mal, sí</i></p>	<p><i>hace que estemos bien con nuestro entorno; todas las cosas que nos rodean básicamente tienen una base científica y entonces de cierta forma tenemos que aprenderlas... incluso los medicamentos más simples como el acetaminofén tienen su base científica, C2 menciona que tenemos que tener un breve conocimiento de algunas cosas que hay y también saber de que no nos engañan con falacias; c4 indica que la ciencia se necesita literalmente casi para todo y para c5 gracias a ella podemos usar y tener la mayoría de las cosas que tenemos... la ciencia siempre es como... busca como hacer aportes a la</i></p>	<p>uno algunas veces como que ponerse a pensar todo eso y uno le aparecen muchas teorías; C3 indica que <i>gracias a ella y es un antes y después en la historia</i> y C4 <i>piensa que la ciencia tiene mucha influencia en la sociedad, por su parte c5 indica que crear cosas nuevas y útiles para la sociedad ...Si, la ciencia trabaja para facilitarle infinidad de cosas a la sociedad y para aportar a que muchas cosas avancen y esto sea beneficio para la sociedad</i></p>	<p>generan ideas, en ideas se generan opiniones y así nuevas teorías científicas y cosas así mientras que C3 piensa que <i>entre más gente sepa de esta más gente puede aportar conocimientos a la misma</i></p>
--	---	--	--	---	--

			sociedad para facilitarles las cosas a las personas.		
--	--	--	--	--	--

Anexo 2. Matriz de análisis construida a partir de la aplicación del primer instrumento

Categorías	Razonamiento verbal-Análisis de los argumentos			
	El papel de la mujer en la ciencia en el desarrollo de la TR	Ciencia como producto del trabajo conjunto en el desarrollo de la TR	Las relaciones entre ciencia, sociedad y política en el desarrollo de la TR	La importancia de la historia en la ciencia
Casos				
Caso 1	Pues en la época de don Alberto las mujer era muy reprimida o sea las reprimían mucho por el machismo cierto entonces de cierta forma eso afecto en que las mujeres pudieran exponer sus ideas de forma científica y todavía se sigue viendo igualmente pero donde la hubieran dejado teso porque uno ve esas teoría que sacan esas viejas y uno es como uishh poderoso	que pues como se dice para llegar a una teoría científica primero que todo uno tiene que tener como una idea o un pensamiento acerca de algo luego de cierta forma estudiarlo y estudiarlo hasta que en algún momento alguna persona le va a encontrar un error y en el error lo que va a encontrar es una solución al problema como por ejemplo lo hizo el Alberto si me entiende? <i>...Sí, en muchos años anteriores de investigación, incluso se basó en la teoría de newton y el electromagnetismo para dar idea de algunos errores y proponer su teoría</i>	<i>...Sí, ya que los científicos muy comúnmente son financiados por el gobierno para realizar sus experimentos, por lo que esta muy unidos a ellos y fieles de cierta manera</i> ...obvio porque normalmente las personas eh que realizan descubrimientos científicos y avances científicos están más que todos remunerados por el gobierno si me entiende o sea los financian a veces el gobierno para realizar las cosas como por ejemplo en la segunda guerra mundial la bomba de hidrogeno todo eso si me entiende? Entonces la necesidad que genera buscar financiamiento para o	

		<p>...total obvio porque al fin y al cabo él no hubiera podido hacer solo todo lo que hizo siempre tuvo que tener una ayuda y algo que sustentara todo lo que estaba haciendo por ejemplo si yo me pongo a hablar con migo cual es el infinito del infinito y yo digo una cosa y él dice otra maricada ahí nos vamos a quedar si me entiende en cambio los dos tenemos que sacar una conclusión con al que nos sintamos satisfechos así no sea correcta pero igualmente ...Que también tuvo influencia porque a Albert lo apoyaron mucho sus compañero, Besso y el profesor o algo así lo apoyaban bastante con su teoría entonces eso de cierta forma le dio como una base para decir bueno si la gente me apoya con esto expongámoselo a más personas</p>	<p>sea para poder hacer o dar práctica los conocimiento que uno obtiene pues al final uno termina trabajando para esas personas</p>	
<p>Caso 2</p>			<p><i>sien la primera guerra mundial en la</i></p>	<p>pues yo la puse como más que todo como pues el</p>

			<p><i>modificación de bombas nucleares</i> <i>...si porque por ejemplo lo que paso con Einstein era que si no apoyaba la guerra lo mataban y le toco ayudar hacer una bomba</i> <i>...digamos el ejemplo de Einstein que si no ayudaba con la guerra lo mataban si estaba en desacuerdo lo mataban entonces a el le toco colaborar</i></p>	<p>estrategia que la ciencia hizo con la bomba en Hiroshima o sea eso es para reflexionar para que uno no siga haciendo eso pero el ser humano es así uno la sigue haciendo</p>
Caso 3	<p><i>Puede ser que Einstein no le dio créditos y pienso que el papel de las mujeres tiene la misma importancia que el de los hombres, las mujeres también tienen descubrimientos muy interesantes</i></p>	<p><i>Compartir el pensamiento, el conocimiento y así llegar a la solución</i> <i>... Yo también me fui como por el lado de caso2 pues que varias personas buscando la solución al mismo porque es mejor varias mentes que solo una pues eso hace la solución mas fácil</i> <i>...Sí, ya que gracias al trabajo en equipo lograron la construcción y divulgación</i></p>	<p><i>Sí, normalmente se busca solución científica a los problemas por petición del gobierno</i> <i>...si apoyándome en las palabras de caso 4 casi siempre las investigaciones son a petición del gobierno ya sea por buscar un arma letal o una solución un caso no muy alejado es lo de la vacuna del covid que lo buscan las mismas universidades o potencias del mundo</i></p>	<p><i>Sí, hay que indagar más en ella para que no se enseñe siempre lo mismo y así el conocimiento se vuelve más amplio</i></p>
Caso 4	<p><i>Creo que tal vez tuvo que ver porque era la esposa de ESE personaje que era más reconocido y</i></p>		<p><i>Claro, como por ejemplo la participación de Einstein en la guerra. Es una situación donde un hombre con bastante capacidad</i></p>	<p>Yo considero que es muy importante conocer esas primeras eh pasos, los primeros conocimientos donde se desarrolla pues esta rama y o sea yo creo que sería muy bueno que</p>

	<p><i>porque en aquellas época las mujeres no tenían tanto apoyo como lo es ahora y se veía debilidad en ellas. Las mujeres pueden desarrollar exactamente los mismos papeles que puede hacer un hombre, tienen la misma capacidad mental, intelectual y puede que en algunos casos, el físico para esto.</i></p>		<p><i>intelectual, pudo haber causado un desastre masivo por intervenir.</i></p>	<p><i>se implementara esto en los colegios pero que no se viera como en una manera tan profunda sino que se implementaran las nuevas ciencias también o sea que se viera lo antiguo pero para tener la historia saber de donde salió y por que ...Claro que sí, es importante conocer sus bases y principios, pero no de una manera tan profunda sino lo más básico y simple.</i></p>
Caso 5	<p><i>Probablemente por los tiempos en los que esto pasó, allí no se le daba un buen reconocimiento y validez a la mujer en casi ningún ámbito. Pienso que las mujeres tienen la misma capacidad intelectual que los hombres para participar en la ciencia. yo digo que es igual, tienen las mismas capacidades intelectuales para participar en la ciencia</i></p>	<p><i>Si, pues habían más aportes de conocimientos y esto hacía que fuera más avanzada, y entre más personas estuvieran involucradas la información iba a llegar a más personas</i></p> <p><i>Pues yo digo que si porque como decía caso 3 entre más personas se puede hacer algo mejor mas conocimiento más aportes y también con la divulgación pues que entre más personas se vean involucradas</i></p>	<p><i>Algunas veces hasta los mismos políticos deciden usar la ciencia de manera incorrecta y esto altera su desarrollo o función</i></p>	<p><i>Si, podríamos reflexionar sobre de qué manera esta situación afectó los avances de la ciencia de Einstein</i></p>

		iba a llegar a pues a más personas		
Caso 6	<i>En esos tiempos, las mujeres no eran muy reconocidas por lo que hacían para bien, ya que eran opacadas por el machismo y el patriarcado de la sociedad. Considero que las mujeres en la ciencia juegan un papel sumamente importante y alentador para la población femenina que aún se siente reprimida a hacer libremente lo que les apasiona.</i>	<i>Claro que sí, porque como decía el texto, él no era matemático, solo era físico. Entonces tuvo que tener ciertas personas que lo ayudaran a desarrollar y plantear su teoría</i>		
Asertos	Las mujeres pueden hacer ciencia C3 piensa que <i>el papel de las mujeres tiene la misma importancia que el de los hombres, las mujeres también tienen descubrimientos muy interesantes;</i> C4 . <i>Las mujeres pueden desarrollar</i>	El desarrollo científico es posible gracias al trabajo de muchas personas C1 <i>...Sí, en muchos años anteriores de investigación, incluso se basó en la teoría de newton y el electromagnetismo para dar idea de algunos errores y proponer su teoría...el no hubiera podido</i>	La ciencia tiene relaciones con lo político C1 <i>los científicos muy comúnmente son financiados por el gobierno para realizar sus experimentos...</i> Entonces la necesidad que genera buscar financiamiento; C2 <i>si en la primera guerra mundial en la modificación de bombas nucleares</i>	Es necesario conocer sobre historia en la ciencia C2 eso es para reflexionar para que uno no siga haciendo eso pero el ser humano es así uno la sigue haciendo; C3 <i>hay que indagar más en ella para que no se enseñe siempre lo mismo y así el conocimiento se vuelve más amplio;</i> C4 es muy importante conocer esas primeras eh pasos, los primeros conocimientos donde se desarrolla pues esta rama y o sea yo creo que sería muy bueno que

	<p><i>exactamente los mismos papeles que puede hacer un hombre, tienen la misma capacidad mental, intelectual y puede que en algunos casos, el físico para esto.; C5 Pienso que las mujeres tienen la misma capacidad intelectual que los hombres para participar en la ciencia. yo digo que es igual, tienen las mismas capacidades intelectuales para participar en la ciencia; C6 Considero que las mujeres en la ciencia juegan un papel sumamente importante y alentador para la población femenina que aún se siente reprimida a hacer libremente lo que les apasiona.</i></p>	<p>hacer solo todo lo que hizo siempre tuvo que tener una ayuda y algo que sustentara todo lo que estaba haciendo... a Albert lo apoyaron mucho sus compañero, Besso y el profesor o algo así lo apoyaban bastante con su teoría entonces eso de cierta forma le dio como una base para decir bueno si la gente me apoya con esto expongámoselo a mas personas; C3 <i>Compartir el pensamiento, el conocimiento y así llegar a la solución</i> ... varias personas buscando la solución al mismo porque es mejor varias mentes que solo una pues eso hace la solución mas fácil... <i>gracias al trabajo en equipo lograron la construcción y divulgación...C5 entre mas personas estuvieran involucradas la información iba a llegar a mas personas; C6 , él no era</i></p>	<p><i>...si porque por ejemplo lo que paso con Einstein era que si no apoyaba la guerra lo mataban y le toco ayudar hacer una bomba</i> ...digamos el ejemplo de Einstein que si no ayudaba con la guerra lo mataban si estaba en desacuerdo lo mataban entonces a el le toco colaborar; <i>C3 normalmente se busca solución científica a los problemas por petición del gobierno... casi siempre las investigaciones son a petición del gobierno ya sea por buscar un arma letal o una solución un caso no muy alejado es lo de la vacuna del covid que lo buscan las mismas universidades o potencias del mundo; C4 por ejemplo la participación de Einstein en la guerra. Es una situación donde un hombre con bastante capacidad intelectual, pudo haber causado un desastre masivo por intervenir.; C5 Algunas veces hasta los mismos politicos deciden usar la ciencia de manera incorrecta y esto</i></p>	<p>se implementara esto en los colegios pero que no se viera como en una manera tan profunda sino que se implementaran las nuevas ciencias también o sea que se viera lo antiguo pero para tener la historia saber de donde salió y por que <i>...Claro que sí, es importante conocer sus bases y principios, pero no de una manera tan profunda sino lo más básico y simple.; C5, podríamos reflexionar sobre de qué manera esta situación afectó los avances de la ciencia de Einstein</i></p>
--	--	--	--	--

		<i>matemático, solo era físico. Entonces tuvo que tener ciertas personas que lo ayudaran a desarrollar y plantear su teoría</i>	<i>altera su desarrollo o función</i>	
--	--	---	---------------------------------------	--

Anexo 3. Matriz de triangulación entre las categorías

		Razonamiento verbal-Análisis de los argumentos				
		Ciencia como forma de conocimiento	La ciencia vista como causante de posibles daños	La ciencia en lo cotidiano	La ciencia como parte de la cultura	Teoría científica como construcción de consensos
Categorías actividad 1						
Categorías actividad 2						
Razonamiento verbal-Análisis de los argumentos	El papel de la mujer en la ciencia en el desarrollo de la TR				x	
	Ciencia como producto del trabajo conjunto en el desarrollo de la TR	x			x	x
	Las relaciones entre ciencia y sociedad en el desarrollo de la TR		x	x	x	
	La importancia de la historia en la ciencia	x	x		x	x

*Anexo 4. Protocolo ético***ACTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**

Yo _____, identificado con C.C. _____, acudiente de _____, identificado con T.I. _____, autorizo la participación de mi acudido quien acepta participar voluntariamente en la investigación *Formación en ciencias como estímulo al desarrollo de habilidades de pensamiento crítico: la teoría de la relatividad en lo cotidiano*, desarrollada por los profesores Dina Ascanio Maestre y Yirsen Aguilar Mosquera, estudiante y docente de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia.

Declaro haber sido informado/a de los objetivos y procedimientos del estudio y del tipo de participación. En relación a ello, mi acudido acepta participar en las actividades individuales y en el grupo de discusión, y consiento que se realicen grabaciones en audio y vídeo.

Declaro haber sido informado que las fuentes de información como escritos, intervenciones en el grupo de discusión, grabaciones de audio y video, se constituyen en bases de datos para los propósitos señalados, y que estos datos que se recojan serán de carácter confidencial y no se usarán para ningún otro propósito fuera de los de este estudio.

Declaro haber sido informado/a que la participación de mi acudido no involucra ningún daño o peligro para su salud física o mental, que es voluntaria, que puede hacer preguntas en cualquier momento del estudio y que puede retirarse del mismo cuando así lo decida, sin que esto acarree perjuicio alguno para él/ella. De igual forma declaro haber sido informado/a que por su participación no tendrá ninguna compensación económica.

Declaro saber que la información entregada será confidencial y anónima. Entiendo que la información será analizada por los investigadores en forma grupal y que no se podrán identificar las respuestas y opiniones de cada participante de modo personal.

Declaro saber que la información que se obtenga será guardada por el investigador responsable en dependencias de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia y será utilizada sólo para este estudio.

Este documento se firma en dos ejemplares, quedando uno en poder de cada una de las partes.

Nombre del participante	Identificación	Firma

Nombre del acudiente	Identificación	Firma

Nombre del Investigador Principal	Identificación	Firma

Para su constancia se firma a los ____ días el mes de _____ de 2020.

Datos de contacto:

Cualquier pregunta que Usted desee hacer durante el proceso de investigación podrá contactar a la profesora en formación Dina Ascanio Maestre, cel: 3108351011, e-mail: dina.ascanio@udea.edu.co

*Anexo 5. Ciclo didáctico***Fase de exploración**

Actividad 1

Responde las siguientes preguntas

- ¿Qué es para ti el espacio? ¿Cómo lo representarías?
- ¿Qué es para ti el tiempo? ¿Cómo lo representarías?
- ¿Crees que el tiempo y el espacio son importantes para la física? Explica
- ¿Qué entiendes por movimiento?
- ¿Qué entiendes por reposo?
- ¿Crees que es posible encontrar una sola cosa que se encuentre totalmente quieta en el universo? Explica.
- ¿Crees que es posible estar en reposo mientras te mueves?
- ¿Qué entiendes por velocidad? ¿cuál crees que es la velocidad más alta que un objeto podría alcanzar?
- ¿Qué entiendes por sistema de referencia?

Actividad 2:

Piensa en las siguientes situaciones y responde las preguntas:

- Si voy en un carro a 80Km/h en la autopista y veo pasar el metro también a 80Km/h, ¿cómo percibo el movimiento del metro respecto al mío? Realiza una descripción de lo que crees que sucedería.

- Piensa en la siguiente situación: Esta vez estás dentro del metro, y llegas a una estación en donde hay muchas personas en la plataforma. Al llegar a la estación y observar a las personas de la plataforma por la ventana del tren, ¿las personas se mueven hacia ti o tú te mueves hacia ellas?
- Estás viajando en un bus hacia el parque de Envigado y observas por la ventana algunos edificios ¿Eres tú quien se mueve o son los edificios los que se mueven?
- ¿Crees que es posible encontrar una sola cosa quieta en el universo? Explica.

Actividad 3

Para hacer en casa con antelación:

Para esta actividad vas a conseguir un helado, o en su defecto unos trozos de hielo. Observa y documenta lo que sucede con el helado o el hielo en un lapso de 15 minutos. Responde:

- Describe con tus palabras lo sucedido al hielo o al helado en el tiempo transcurrido. ¿El hielo o el helado se encuentran en reposo? ¿cómo representarías gráficamente lo sucedido?
- ¿Crees que es posible estar en reposo en el tiempo? Explica.
- ¿Crees que es posible marginarse del tiempo? Explica.

Actividad 4:

Representación geométrica de Minkowski del espacio-tiempo. Describe con tus palabras la situación que crees que representa cada gráfico.

Gráfico 1

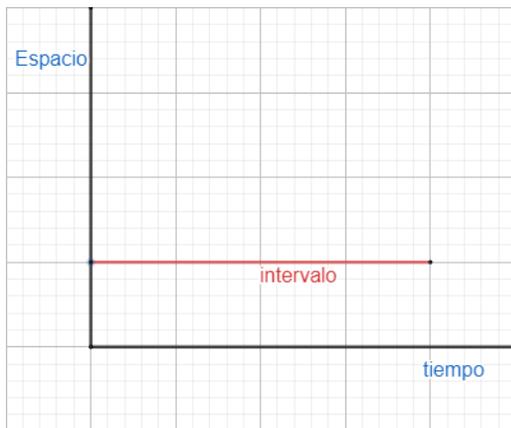


Gráfico 2

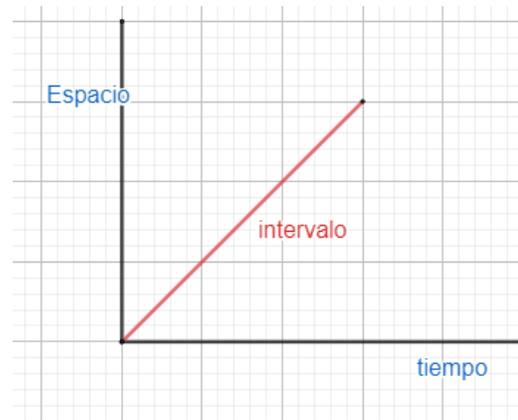


Gráfico 3



Fase de nuevos modelos explicativos

Actividad 1:

Responde desde tus consideraciones las siguientes preguntas

- ¿Qué es para ti la ciencia?
- ¿Crees que la ciencia es importante? Explica.
- ¿Crees que la ciencia puede causar daños? Explica.
- ¿Crees que es importante saber de ciencia hoy en día? Explica.
- ¿Crees que la ciencia y la sociedad tienen relación? Explica.
- ¿Qué opinas del papel de la mujer en la ciencia a partir del caso de Mileva Maric?

Luego, lee las afirmaciones de la tabla y encierra en un círculo la opción que consideres más adecuada, siendo 1 muy en desacuerdo, 2 poco en desacuerdo, 3 poco de acuerdo y 4 muy de acuerdo.

Premisa	1	2	3	4
La ciencia hace nuestra vida más saludable, más fácil y cómoda.				
Los beneficios de la ciencia son mayores que los efectos perjudiciales que podría tener.				
La ciencia es importante para la sociedad.				
La ciencia que he aprendido en el colegio es interesante.				
La ciencia que me enseñan en el colegio es fácil de aprender.				
La ciencia que me enseñan en el colegio me será útil en mi futuro.				
La ciencia que me enseñan en el colegio me gusta más que la mayoría de las otras asignaturas.				
Yo creo que todos deberían aprender ciencia en el colegio.				
Las cosas que aprendo de ciencia en el colegio son útiles en mi vida cotidiana.				
La ciencia que me enseñan en el colegio me ha hecho más crítico y escéptico.				
La ciencia que me enseñan en el colegio ha aumentado mi curiosidad sobre las cosas que todavía no se pueden explicar.				
La ciencia que me enseñan en el colegio me ha enseñado a cuidar mi salud y la de mi familia.				

Actividad 2:

Lee la adaptación del libro Einstein, su vida y su universo y responde las preguntas:

Walter Isaacson

Traducción franciso J. Ramos

Muchos hemos escuchado mencionar la Teoría de la relatividad propuesta por Albert Einstein en 1905, pero quizá no sabías algunas cosas que están detrás de este desarrollo científico. Veamos: Esta teoría desmontó otra teoría que había servido a la física por más de 200 años, lo cual nos muestra lo revolucionaria que ha sido la Teoría de la relatividad para la ciencia. La construcción de la Teoría de la relatividad requirió de Einstein una intuición basada en una década de experiencias tanto intelectuales como personales. Por un lado, su conocimiento de la física teórica pero también su capacidad para visualizar experimentos mentales fomentada por su escolarización. Asimismo, su base filosófica a partir de Hume y Mach le habían provisto de cierto escepticismo por las cosas que no podían observarse, y dicho escepticismo se había visto potenciado por su innata tendencia a cuestionar la autoridad. También el marco tecnológico de su vida le influenció claramente: ayudar a su tío Jakob a perfeccionar las bobinas e imanes móviles de un generador, trabajar en una oficina de patentes inundada de solicitudes para patentar nuevos métodos de sincronizar relojes, tener un jefe que le alentaba a aplicar su escepticismo, vivir cerca de la Torre del Reloj y de la estación de ferrocarril de Berna, y justo encima de la oficina de Correos y Telégrafos de la ciudad, precisamente en un momento en el que Europa empleaba señales eléctricas para sincronizar los relojes dentro de una misma zona horaria, y tener como caja de resonancia a su amigo e ingeniero Michele Besso, que trabajaba con él en la oficina de patentes examinando dispositivos electromecánicos. Él y Einstein forjaron una estrecha amistad, que se mantendría durante el resto de sus vidas...Con los años, Besso y Einstein compartirían tanto las confidencias personales más íntimas como las más elevadas nociones científicas. Einstein no era matemático sino físico, por lo cual necesitó de la ayuda de varias personas para describir matemáticamente sus ideas. Su antiguo profesor Minkowski, decidió dotar la teoría de una estructura matemática formal. Luego, anunció teatralmente la teoría de Einstein con su nuevo enfoque matemático en una conferencia pronunciada en 1908 en la universidad de Gotinga ante varios académicos. También la ayuda de su esposa Mileva fue trascendental: “¡Qué feliz y orgulloso me sentiré cuando los dos juntos hayamos llevado a término nuestro

trabajo sobre el movimiento relativo!”, le había escrito Einstein a su amante Mileva Maric en 1901. Luego ese trabajo se había llevado a término y Einstein estaba tan exhausto al acabar un borrador en junio, que “su cuerpo se resintió y tuvo que estar dos semanas en cama”, mientras que Maric “revisaba el artículo una y otra vez”. Por otro lado, como miembro del consejo editorial de los Annalen der Physik responsable de los artículos teóricos, Planck había examinado los trabajos de Einstein, y el de la relatividad “de inmediato le había llamado vivamente la atención” ... en cuanto se publicó, Planck dio una conferencia sobre relatividad en la Universidad de Berlín... esto ayudó a que la teoría de la relatividad fuera legitimada entre otros físicos. Posteriormente, Einstein empieza a ganar reconocimiento en la comunidad académica y pasa a ser profesor de prestigiosas universidades, a ser invitado a importantes reuniones y congresos de científicos y a formar parte de una reconocida academia. Sin embargo, no todo era color de rosa. Toda esta historia se desarrolló en el marco de la primera y segunda guerra mundial... el prestigio de Einstein entre la comunidad científica era enorme, por lo que su presencia pública se fue haciendo cada vez más notable. Einstein había albergado sentimientos que le predisponían favorablemente al pacifismo, el federalismo mundial y el socialismo. Sin embargo, en general había rehuído el activismo político. La primera Guerra Mundial cambió aquella situación. Einstein jamás abandonaría la física, pero desde entonces pasaría a defender firmemente en público, durante la mayor parte de su vida, sus ideales sociales y políticos. La irracionalidad de la guerra hizo creer a Einstein que, de hecho, los científicos tenían el deber especial de intervenir en los asuntos públicos. Sin embargo, se sintió decepcionado al ver cómo sus colegas más cercanos defendían la guerra participando incluso en la construcción de armas bélicas; esto obligó a Einstein a romper con ellos políticamente. Los tratados de paz que pusieron fin a la Primera Guerra Mundial tras cinco años de enfrentamiento bélico y la muerte de millones de personas prepararon el escenario para la Segunda. Mientras, Einstein había logrado señalarse como un individuo poco grato a los ojos del régimen político alemán, algo que tampoco mejoraría con el final de la guerra.

- ¿Qué proceso crees que siguen las ideas de una persona para llegar a ser una teoría científica?
- ¿Crees que el apoyo de otras personas a Einstein tuvo influencia en la construcción y/o divulgación de la teoría de la relatividad? Explica
- ¿Encuentras relación entre la ciencia y aspectos sociales en el texto? En caso afirmativo, explica.
- ¿Crees que las cuestiones políticas influyen en el desarrollo científico? Explica.
- ¿Consideras que la situación anteriormente descrita puede ser objeto de reflexión de la ciencia? Explica.
- ¿Crees que es importante conocer de historia de la ciencia? Explica.

Fase de estructuración

Actividad 1

Lee el siguiente texto sobre los diagramas de espacio-tiempo y realiza un mapa mental sobre la información que aprendiste.

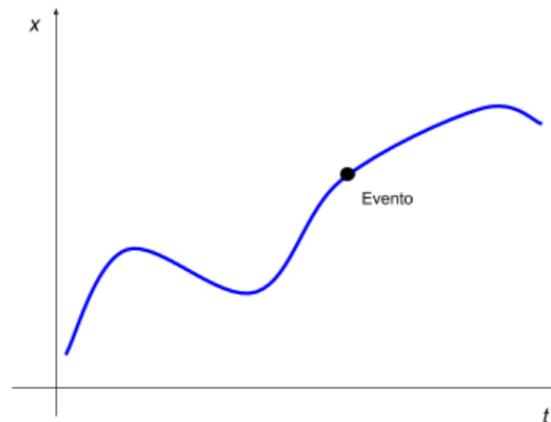
Relatividad para todos, Zuluaga (2017)

Diagramas de espacio-tiempo

Al describir el movimiento de un cuerpo es común usar representaciones gráficas precisas de ese movimiento a través los denominados diagramas de espacio-tiempo (ver Figura 1).

Figura 1

En este diagrama de espacio-tiempo cada uno de los puntos de la curva azul representa la posición (x) de un cuerpo en un instante de tiempo dado (t). A cada uno de los puntos de la curva (y en general del diagrama) lo llamamos un evento.



En estos diagramas se representa sobre un plano cartesiano, la posición de un cuerpo en cada fase del movimiento y el tiempo en el que tiene esa posición. Para simplificar nuestra descripción aquí, supongamos que queremos describir inicialmente el movimiento de un cuerpo que se desplaza a lo largo de una línea recta (movimiento en una dimensión). Por ejemplo, un ciclista que se mueve a lo largo de una pista o una calle recta.

Cada uno de los puntos en un diagrama de espacio-tiempo se conoce como un evento. Ahora bien. Cuando describimos el movimiento de un cuerpo usando estos diagramas nos concentramos en entender solamente los eventos que ocurren sobre la curva que sigue el cuerpo. Pero se han preguntado ¿qué pasa con los puntos que están por fuera de la curva? ¡Una pregunta tan sencilla puede ser la fuente de ideas asombrosas como descubriría Einstein! Para empezar, podríamos pensar que dado que el cuerpo que nos interesa (el ciclista, por ejemplo) no pasa por puntos fuera de la curva, nada interesante ocurre allí. Pero eso no es cierto, naturalmente. Supongan que en la calle en la que se mueve el ciclista se ubican un conjunto de conos separados por distancias iguales unos de otros. Los conos están completamente quietos sobre la calle (ver Figura 2).

Figura 2

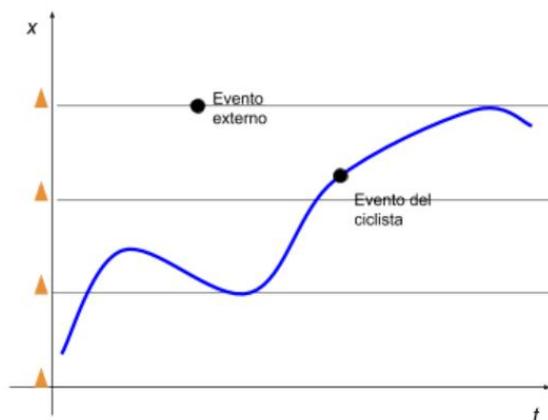
En la calle en la que se mueve el ciclista podemos ubicar objetos como conos que nos permiten construir un sistema de referencia adecuado para medir el espacio y el tiempo.



Al agregar los conos ¿cómo se ve ahora el diagrama de espacio tiempo? Cada cono tiene ahora su propia historia (bastante aburrida, por cierto), que se puede representar en el diagrama como una línea recta horizontal: al pasar el tiempo la posición de los conos no cambia (ver Figura 3).

Figura 3

La línea de Universo de los conos en la calle define una “rejilla” en el espacio-tiempo que nos permite medir la posición del ciclista.

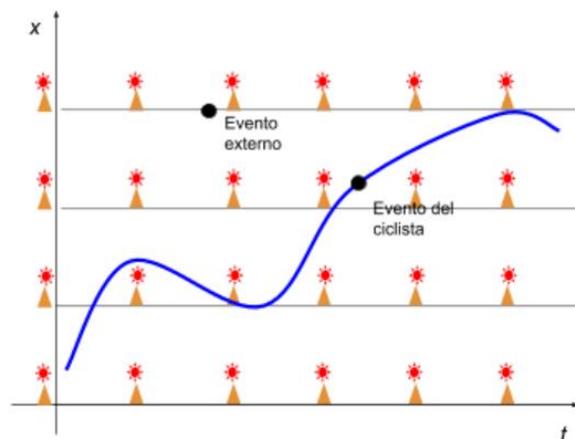


Esta fue una de las primeras ideas de Einstein para hacer más riguroso el estudio el espacio y el tiempo. Según el científico alemán si queremos describir lo que pasa en una situación dada debemos imaginar que en cada punto del espacio hay un “cono” ayudándonos a marcar

los eventos que lo rodean. La “historia” de cada cono, es decir las líneas horizontales punteadas en la Figura 3 (o líneas de Universo como terminaron por llamarse) crean una rejilla natural en la que podemos medir el espacio sobre el diagrama. Los eventos fuera de la curva del ciclista pueden ahora identificarse como sucesos que ocurren cerca a un cono. De la misma manera que podemos ubicar conos en la pista situados a la misma distancia unos de otros, podemos colocar sobre ellos relojes idénticos que marquen el tiempo. Para que cumplan su cometido estos relojes deben estar sincronizados inicialmente y mantenerse así mientras hacemos el experimento u observamos una situación dada. Imaginen ahora que por cada segundo de tiempo que pase en los relojes, un bombillo que se encuentra sobre el cono se encendiera momentáneamente. ¿Cómo se verían estos eventos? En la Figura 4 te lo mostramos.

Figura 4

Cada cierto tiempo los conos se encienden simultáneamente marcando eventos que sirven de referencia para medir el tiempo de cualquier evento cercano.



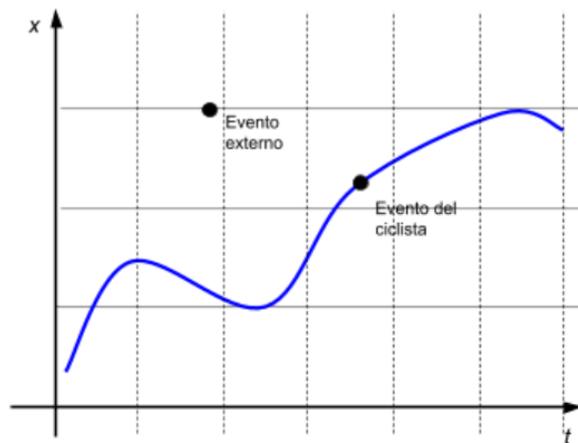
Nuestro diagrama se ha convertido en algo mucho más complejo, revelando justamente la riqueza del espacio y el tiempo en el que se mueve el cuerpo.

Los conos con el bombillo encendido en la Figura 4, son siempre los mismos. Cada columna de conos, sin embargo, representa una copia de ellos en momentos diferentes del tiempo. Ellos nos ayudan a trazar una rejilla perpendicular a la que creamos antes usando las líneas

de Universo, y con ella construir una representación rigurosa del espacio tiempo en el que se mueve el ciclista (ver Figura 5).

Figura 5

Una representación rigurosa del espacio-tiempo en el que se mueve el ciclista. Hemos removido los conos, pero debe recordarse que las líneas horizontales y verticales están referidas a ellos.



Si bien la construcción de esta cuadrícula podría haberse hecho antes sin recurrir a los conos, los relojes o los bombillos, Einstein insiste en que para ser rigurosos físicamente y sobre todo para darle sentido a cada uno de los puntos en el diagrama (eventos) debemos siempre tener en la cabeza esta manera particular cómo se construyó la cuadrícula.

Geometría en el espacio-tiempo

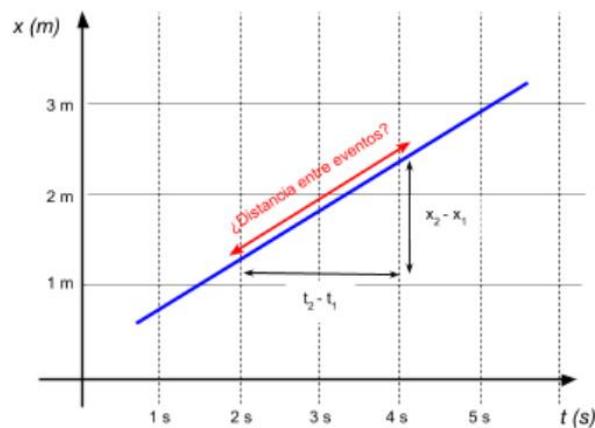
Cuando lidiamos con diagramas de espacio-tiempo en física, nos hacemos preguntas muy concretas como estas: ¿cuál fue el desplazamiento del cuerpo entre el tiempo t_1 y t_2 ?, ¿cuánto tardó el cuerpo en desplazarse del punto x_1 al punto x_2 ?, ¿cuál fue la velocidad media del cuerpo entre t_1 y t_2 ?, etc.

Pero se han preguntado ¿cuál es la distancia (si es que se puede llamar así) entre los eventos (t_1, x_1) , y (t_2, x_2) ?, ¿se puede trazar un triángulo o un círculo en un diagrama de espacio-tiempo? ¿funciona el teorema de Pitágoras en estos diagramas? Estas preguntas tienen que ver con un área de las matemáticas con la que estamos bien familiarizados: la geometría.

Preguntarnos entonces por las cosas anteriores es preguntarnos por la “geometría del espacio-tiempo”.

Figura 6

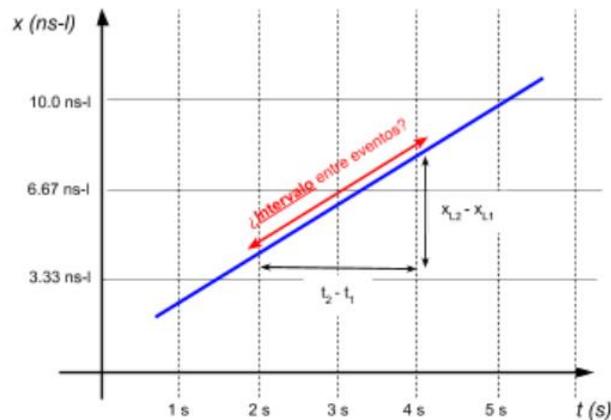
Normalmente al lidiar con diagramas de espacio-tiempo nos referimos a las distancias en el tiempo y el espacio entre los eventos. Pero ¿podrá uno preguntarse cuál es la distancia en el espacio-tiempo entre dos eventos?



Si bien en casi todas partes nos hablan de la relatividad como una teoría que explica las cosas que pasan a grandes velocidades o cerca a agujeros negros, la verdad es que la mejor manera de describir la relatividad es describirla como una teoría sobre la geometría del espacio-tiempo. Vamos a ver qué significa esto.

Figura 7

Si usamos en el eje de la posición unidades luz (en este caso nanosegundos-luz o $ns - l$) la combinación del espacio y el tiempo se hace más viable técnicamente.



El primer obstáculo que enfrentamos para resolver, por ejemplo, la pregunta de cuál es la distancia en el espacio-tiempo entre dos eventos, por ejemplo, entre la salida del ciclista del punto de partida y su llegada a la meta, es que es muy sencillo terminar usando lo que ya sabemos sobre la geometría del espacio convencional.

Para la mayoría es obvio que la distancia dos eventos del espacio-tiempo es simplemente la distancia en metros medida en el espacio entre el punto de salida y el punto de llegada. Pero no. Es justo por esto que la palabra “distancia” puede ser engañosa aquí. Lo que queremos saber es la separación espacio-temporal (combinando ambos) entre los eventos. Si el ciclista parte de $x = 0$ m en $t = 0$ s y llega a $x = 100$ m en $t = 10$ s, la separación no es ni 100 m, ni 10 s, ¡debe ser una combinación de ambos! Llamemos a esta separación entre eventos “intervalo” como la llamara en su momento Einstein.

¿Relativo o no relativo?

Cuando calculamos el intervalo entre dos eventos con la fórmula anterior, el valor obtenido ¿es medido por quién?, ¿por el ciclista o por un policía de tránsito que está quieto en la calle al lado de los conos? Si bien esta pregunta podría parecernos un poco fuera de lugar en este punto, fue de la mayor importancia para Einstein al momento de construir su teoría de la

relatividad (de allí viene justamente el nombre). Tratemos de aclarar un poco mejor el origen de la pregunta.

Es claro que los valores de x y t que usamos en la fórmula están medidos respecto al sistema de referencia que creamos con los conos y los relojes en ellos. Es decir, esos valores están referidos a un observador quieto en la calle. ¿Podríamos medir valores de x y t diferentes si, en lugar de ver al ciclista desde la calle, lo observamos desde un bus en movimiento?

Figura 8a

Un autobús pasa al lado del ciclista en $t = 0$ y lo rebasa moviéndose al doble de su rapidez.

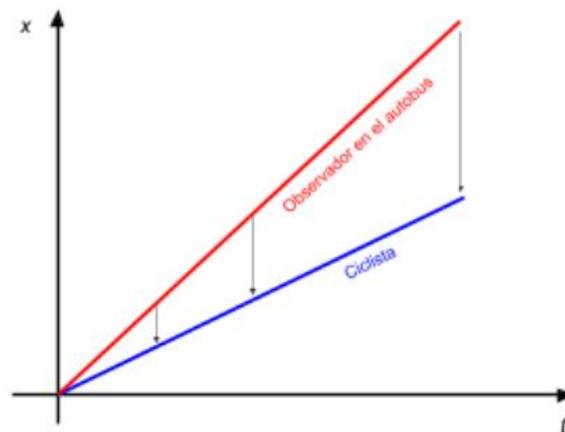
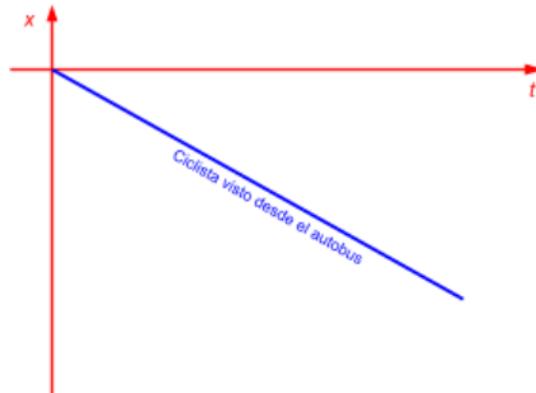
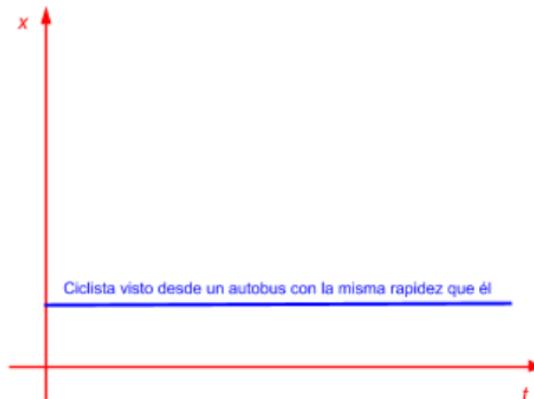


Figura 8b

Desde el sistema de referencia del autobús el ciclista se mueve en dirección negativa de x (retrocede)

**Figura 9**

La línea de Universo del ciclista vista desde un autobús que se mueve con la misma rapidez que él.



En la Figura 8a se muestra lo que vería una persona que observa la carrera del ciclista mientras pasa al lado de él en un autobús al doble de la velocidad. ¿Qué se puede decir sobre lo que ve la persona en el autobús? Contrario a lo que pasa en la calle, en la cual el ciclista se aleja en dirección positiva de las x a medida que pasa el tiempo, para la persona que va en el autobús, el ciclista parece alejarse, pero en dirección negativa de las x ¿lo ves? Es decir, desde la perspectiva del autobús, el ciclista parece ir en reversa.

Tal vez sea más sencillo mostrar esto si construimos el diagrama de espacio-tiempo tal y como lo vería la persona en el autobús. En la Figura 8b se muestra el resultado. Como lo esperábamos desde la perspectiva de la persona en el autobús la línea de universo del ciclista apunta hacia abajo (se aleja del origen en dirección negativa de x). Geométricamente hablando, cambiar de perspectiva en el espacio-tiempo, es decir pasar de un sistema de referencia a otro que está en movimiento respecto al primero, equivale a “rotar” las líneas de Universo. Ahora bien, ¿cómo se ve la línea de Universo del ciclista desde un autobús que se moviera exactamente a la misma rapidez que él?

En esta situación el ciclista parecería estar en reposo desde la perspectiva del autobús y la línea de Universo se vería como una línea recta horizontal, tal y como se muestra en la Figura 9. Einstein llama a este sistema de referencia, el sistema más simple de todos, o el “sistema de referencia propio” del ciclista. La razón es que si el ciclista (en medio de su incomodidad por estar conduciendo la bicicleta) construyera también un sistema de referencia, lo que observaría sería idéntico a lo que ve la persona que va en el bus con la misma rapidez.

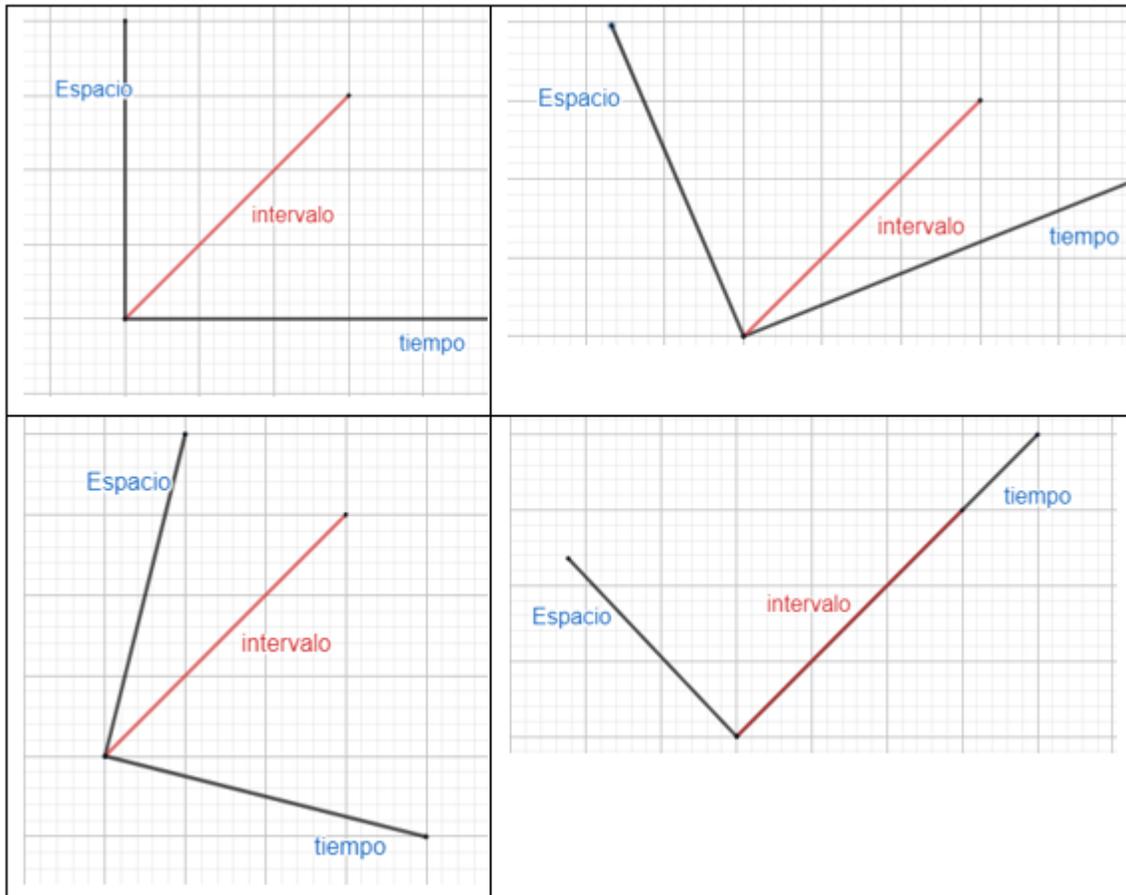
Actividad 2

Piensa en las siguientes situaciones y responde las preguntas:

- Si voy en un carro a 80Km/h en la autopista y veo pasar el metro también a 80Km/h, ¿cómo percibo el movimiento del metro respecto al mío? Realiza una descripción de lo que crees que sucedería.
- Piensa en la siguiente situación: Esta vez estás dentro del metro, y llegas a una estación en donde hay muchas personas en la plataforma. Al llegar a la estación y observar a las personas de la plataforma por la ventana del tren, ¿las personas se mueven hacia ti o tú te mueves hacia ellas?
- Estás viajando en un bus hacia el parque de Envigado y observas por la ventana algunos edificios ¿Eres tú quien se mueve o son los edificios los que se mueven?
- ¿Crees que es posible encontrar una sola cosa quieta en el universo? Explica.

Actividad 3

- ¿Encuentras diferencias y/o similitudes en los siguientes gráficos? Explica.

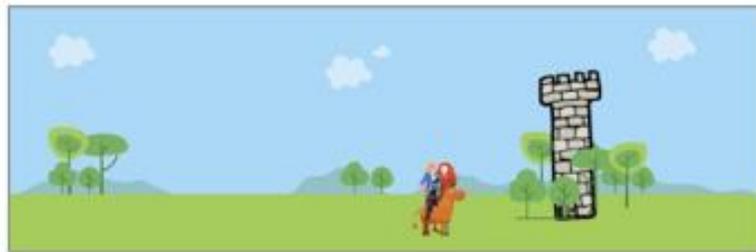


- ¿Crees que alguno de los gráficos mejor que los demás? Explica.

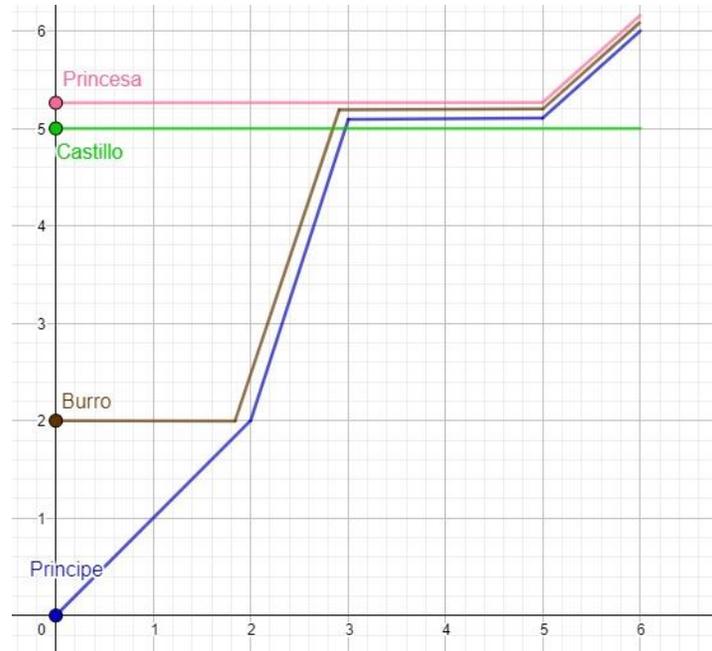
Actividad 4:

Observa la siguiente historia, luego analiza cómo representarla de manera gráfica en un diagrama de espacio-tiempo y piensa qué pasaría si vemos la historia desde otro punto de vista.

La princesa relativista



Representación de la historia en un diagrama de espacio-tiempo:



Ahora, representa la misma historia desde la perspectiva de algún personaje perteneciente a ella en un diagrama de espacio-tiempo.