

**CARACTERIZACIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA RELATIVISTA EN LAS
INSTITUCIONES PÚBLICAS DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**ANDRES EDUARDO GAVILANES SANTANDER
ROBINSON JAVIER SALGADO FINO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE EDUCACIÓN
MAESTRÍA EN EDUCACIÓN
SAN JUAN DE PASTO**

2022

**CARACTERIZACIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA RELATIVISTA EN LAS
INSTITUCIONES PÚBLICAS DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**ANDRES EDUARDO GAVILANES SANTANDER
ROBINSON JAVIER SALGADO FINO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al Título de Magister en
Educación.**

**ASESORA
Dra. ZULMAN ESTELLA MUÑOZ BURBANO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE EDUCACIÓN
MAESTRÍA EN EDUCACIÓN
SAN JUAN DE PASTO**

2022

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”.

Artículo 1. del acuerdo No. 324 del 11 de octubre de 1966, emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Dr. GERMAN ENRIQUE RAMOS ZAMBRANO

Presidente del jurado

Dra. NAYIBE MABEL PAREDES ARTURO

Jurado

Dr. LUIS ANDRES SANTACRUZ ALMEIDA

Jurado

San Juan de Pasto, marzo del 2022.

AGRADECIMIENTOS

A mis Padres, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación. A mi madre por sus consejos y su constante motivación. A mi padre por los ejemplos de responsabilidad y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre. A mis hermanos por su apoyo incondicional y por creer en mí.

Robinson Salgado.

Como homenaje de gratitud a mis padres, Doña Irma Santander y Don Luis Gavilanes. A mi familia, mi señora esposa Iraida Rodríguez y mi hijo Sergio, por su comprensión y apoyo incondicional. A las mentes libres, críticas, propositivas y transformadoras.

Andres Gavilanes.

De manera muy sincera expresamos nuestros agradecimientos a la Doctora Zulman Estela Muñoz directora del trabajo, por su dedicación, tiempo y asesoría para la elaboración del mismo, ya que gracias a su constante apoyo y sugerencias ha sido posible su culminación.

A la Universidad de Nariño por abrir sus puertas brindandonos la oportunidad de estudiar y ser profesionales de tan ilustre institución, así mismo a todos los profesores que fueron parte de nuestra experiencia académica.

Por último, a las demás personas que están presentes en nuestras vidas y que comparten con nosotros la culminación de esta etapa.

A todos, sinceramente... ¡Muchas Gracias!!!

RESUMEN

Este estudio presenta los resultados que buscaban la caracterización de la enseñanza de la Teoría Especial de la Relatividad (TER) con relación al Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) en las instituciones de educación secundaria del Departamento de Nariño. Se afirma que la enseñanza de la TER es relevante en la educación secundaria no solo desde una perspectiva propedéutica, sino porque permite conectar con el CDC, además, estos temas generan interés en los estudiantes, pero al realizar el análisis de los Estándares Básicos de Competencias y los DBA para física de grado décimo y undécimo se evidenció que estos no integran los tópicos de física moderna y por tanto no contemplan la enseñanza de la TER. Se elaboró una encuesta estructurada, que fue validada por un grupo de expertos y que se aplicó a los docentes encargados de impartir la asignatura. Los resultados dan cuenta de la importancia del CDC en la enseñanza de la TER y la confirmación parcial de la hipótesis.

Palabras claves: Enseñanza, teoría de la relatividad especial, conocimiento didáctico del contenido (CDC).

ABSTRACT

This research presents the results that sought to characterize the teaching of the Special Theory of Relativity (STR) in relation to the Pedagogical Content Knowledge (PCK) in secondary education institutions of the Department of Nariño. It is affirmed that the teaching of STR is relevant in secondary education not only from a preparatory perspective, but also because it allows connection with the PCK. In addition, these topics generate interest in students. However, the Basic Standards of Competences and the Learning Basic Rights for physics in tenth and eleventh grades do not integrate the topics of modern physics and therefore do not take into account the teaching of STR. Teachers in charge of teaching the subject were surveyed and the findings show the importance of the PCK in teaching STR and the partial confirmation of the hypothesis.

Key words: teaching, Special Theory of Relativity (STR), Pedagogical Content Knowledge (PCK).

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	15
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
1.1. Formulación del problema de investigación.....	19
1.2. Objetivos.....	19
1.2.1. Objetivo General	19
1.2.1.1. Hipótesis.	19
1.2.2. Objetivos específicos	19
1.3. Justificación	19
2. MARCO REFERENCIAL.....	22
2.1 Antecedentes de investigación.....	22
2.1.1. Contexto internacional.	22
2.1.2. Contexto nacional.	24
2.1.3. Contexto regional.....	25
2.2 Marco contextual	25
2.2.1 Departamento de Nariño.....	26
2.2.2. División administrativa.	27
2.2.3. Instituciones educativas.	27
2.2.4. Asignación académica de la asignatura de física.....	27
2.3 Referente teórico conceptual	27
2.3.1. Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC).	29
2.3.2. Teoría Especial de la Relatividad (TER).	39
2.3.2.1. La relatividad galileana.....	39
2.3.2.2. Transformaciones de Galileo.	42
2.3.2.3. Isaac Newton y el movimiento relativo de los cuerpos.	46

2.3.2.4 La Luz y su naturaleza.....	47
2.3.2.5. El experimento de Michelson y Morley.	48
2.3.2.6. Postulados de la Teoría Especial de la Relatividad.	50
2.3.2.7. La simultaneidad es relativa. T	51
2.3.2.8. Tiempo, longitud y velocidad en la Teoría Especial de la Relatividad.	52
2.3.2.8.1. Dilatación del tiempo.....	52
2.3.2.8.1.1. La paradoja de los gemelos.	56
2.3.2.8.2. Contracción de la longitud.	59
2.3.2.8.3. Adición de velocidades en la TER.....	62
2.3.2.9. Masa, momento y energía.	63
3. ASPECTOS METODOLÓGICOS	66
3.1. Estándares Básicos de Competencias (EBC) y Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA) para ciencias naturales.....	73
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	75
CONCLUSIONES.....	105
RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS	109

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Instituciones educativas y centros educativos 61 municipios no certificados del departamento de Nariño (Oficina de planeación educativa, 2018).	27

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Mapa de División Política Administrativa del departamento de Nariño (Gobernación de Nariño, 2020).	26
Figura 2: Formulario para recolectar la representación del contenido (Loughran, Milroy, Berry, Gunstone, & Mulhall, 2001)	34
Figura 3: Traducción del formulario para recolectar la representación del contenido (Loughran, Milroy, Berry, Gunstone, & Mulhall, 2001)	34
Figura 4: Ejemplo de un PaP-eR extraído de “CoRes and PaP-eRs as a strategy for helping beginning primary teachers develop their pedagogical content knowledge” (Bertram, 2012, págs. 293-303).....	36
Figura 5: Parte 1 traducción PaP-eR extraído de “CoRes and PaP-eRs as a strategy for helping beginning primary teachers develop their pedagogical content knowledge” (Bertram, 2012, págs. 293-303).....	37
Figura 6: Parte 2 traducción PaP-eR extraído de “CoRes and PaP-eRs as a strategy for helping beginning primary teachers develop their pedagogical content knowledge” (Bertram, 2012, págs. 293-303).....	38
Figura 7: ¿A qué lado está la pelta?, elaboración del autor.	40
Figura 8: Posición de un auto, elaboración del autor.	41
Figura 9: : Un observador que se encuentra en movimiento sobre una plataforma vera una trayectoria vertical para un proyectil, tomada de (Wolff & Mors, 2005, pág. 13).....	41
Figura 10: Un observador parado en un referencial terrestre vera una trayectoria parabólica para el proyectil, tomada de (Wolff & Mors, 2005, pág. 13)	41
Figura 11: Sistemas de referencia inerciales S y S', tomada de (Wolff & Mors, 2005, pág. 14) ..	42
Figura 12: Posición de los marcos de referencia para $t=t'=0$ segundos, tomada de (Wolff & Mors, 2005, pág. 14).....	43
Figura 13: Movimiento de S' respecto a S para tiempos mayores a cero, tomada de (Wolff & Mors, 2005, pág. 15).....	43
Figura 14: El interferómetro utilizado por Michelson y Morley,, tomada de (Hacyan, 2012)	49
Figura 15: Esquema experimento de Michelson y Morley. tomada de (Gonzales, 2021)	49

Figura 16: El tren de Einstein alcanzado por dos rayos, tomado de (Wolff & Mors, 2005, pág. 26)	
.....	52
Figura 17: Trayectoria de la luz vista por el pasajero del tren, tomada de (Lanzas & Cobos, 2004)	
.....	53
Figura 18: Trayectoria de la luz para la persona fuera del tren, tomada de (Lanzas & Cobos, 2004).	
.....	54
Figura 19: Trayectoria de la luz para el observador fuera del tren, elaboración del autor.	54
Figura 20: Paradoja de los gemelos, tomada de (Rodríguez, 2017).	57
Figura 21: Contracción de la longitud con el cambio de la velocidad, elaboración del autor.	61
Figura 22: Diseño metodológico.	68

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1: Respuestas de los docentes encuestados, respecto al género.	75
Gráfica 2: Respuestas de los docentes encuestados sobre su edad.	76
Gráfica 3: Respuestas de los docentes encuestados respecto a los años de servicio dentro del magisterio colombiano.....	76
Gráfica 4: Respuestas de los encuestados al tipo de nombramiento.	77
Gráfica 5: Respuestas de los encuestados sobre el tipo de escalafón.	77
Gráfica 6: Títulos de pregrado de los encuestados y su afinidad con la educación.	78
Gráfica 7: Título de pregrado y su afinidad con la física.	78
Gráfica 8: Formación posgradual.	79
Gráfica 9: Estudios posgraduales y su afinidad con la educación	79
Gráfica 10: Estudios posgraduales y su afinidad con la física	80
Gráfica 11: Respuestas a la pregunta: ¿Recibió preparación en didáctica fundamental en pregrado para ejercer la profesión docente?	80
Gráfica 12: Respuestas a la pregunta: ¿Ha recibido formación didáctica en postgrado?	81
Gráfica 13: Docentes con fundamentación en didáctica, sin diferenciar pregrado o posgrado.	82
Gráfica 14: Respuestas a la pregunta: ¿Qué tan preparado (a) se siente para desempeñar su rol de profesor (a) y desarrollar sus clases de Física?	82
Gráfica 15: Respuestas a la pregunta: ¿Hace uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) para desarrollar sus clases de Física (internet, televisores, computadores, tablets, video beam, entre otros)?	83
Gráfica 16: Docentes con fundamentación en física, sin diferenciar pregrado o posgrado.....	84
Gráfica 17: Respuestas de los encuestados a la pregunta: ¿Adquirió conocimientos sobre la Teoría Especial de la Relatividad (TER) en su formación profesional?	84
Gráfica 18: Respuestas a la pregunta: ¿Considera conveniente la enseñanza de la TER en la educación secundaria de nuestro Departamento?.....	85
Gráfica 19: Respuestas a la pregunta: ¿Incluye la enseñanza de la TER en su plan de área?	87
Gráfica 20: Respuestas a la pregunta: ¿Lo que usted enseña responde a la exigencia de las evaluaciones estandarizadas planteadas por el ICFES a través de las pruebas SABER 11?.....	88

Gráfica 21: Respuestas a la pregunta: ¿Actualiza regularmente sus conocimientos sobre la asignatura?	89
Gráfica 22: Docentes con formación en física y pedagogía.	90
Gráfica 23: Respuestas a la pregunta: ¿Actualiza sus conocimientos didácticos para la enseñanza de la TER?.....	91
Gráfica 24: Respuestas de los encuestados a la forma de actualización sobre los conocimientos didácticos para la enseñanza de la TER.	91
Gráfica 25: Respuestas a la pregunta: ¿Considera usted que aprender los conceptos de la TER es importante para los estudiantes?	92
Gráfica 26: Respuestas a la pregunta ¿Qué aporta el experimento de Michelson y Morley en la enseñanza de la TER?.....	97
Gráfica 27: Respuestas a la pregunta ¿Qué aporta el experimento de Michelson y Morley en la enseñanza de la TER?, por parte de los que afirmaron incluir la TER en sus planes de área	98
Gráfica 28: Respuestas a la pregunta: ¿Considera que lo que enseña se articula con lo que los estudiantes necesitan para la vida?	99
Gráfica 29: Respuestas a la pregunta: ¿Piensa que los conocimientos que desarrolla se articulan con las disposiciones del Proyecto Educativo Institucional (PEI) de su lugar de trabajo?	99
Gráfica 30: Respuestas a la pregunta: ¿En qué tipo de institución labora (académica, técnica, religiosa, etnoeducación, normalista, etc.)?	100
Gráfica 31: Respuestas a la pregunta: ¿Cómo afecta esto su quehacer como docente?.....	100
Gráfica 32: Descripciones de manera general algunas características de los estudiantes.	101
Gráfica 33: Respuestas a la pregunta: ¿Cómo influyen estas en su proceso de enseñanza?	103

INTRODUCCIÓN

Esta investigación se enmarca principalmente dentro del paradigma cuantitativo, partiendo de un enfoque descriptivo, el cual también incluye una visión de corte cualitativo, es decir, se fundamenta en una intención investigativa mixta, el cual se asumió así por cuanto consideramos que la investigación educativa implica muchas preguntas que un estudio netamente cualitativo o cuantitativo no podrían contestar. Este estudio se encaminó a caracterizar los factores que impactaban el proceso de enseñanza de la física relativista en la educación básica y media de las instituciones educativas públicas del Departamento de Nariño, que hacen parte de la Secretaría Departamental. Este trabajo se ligó a la enseñanza de las ciencias y con ello al Grupo de Investigación para el Desarrollo de la Educación y la Pedagogía - GIDEP de la Universidad de Nariño. En el presente documento se da a conocer: el problema de investigación, los objetivos, la justificación, los referentes que fueron tenidos en cuenta en el desarrollo del mismo, la metodología, los resultados, las conclusiones y las recomendaciones.

En el problema de investigación se pretendió encontrar los factores que incidían en el proceso de enseñanza de la física relativista en las instituciones públicas del Departamento de Nariño y algunas concepciones pedagógicas de los maestros responsables de impartir la asignatura de física.

Uno de los propósitos del presente estudio fue estatuir el conocimiento pedagógico general de las maestras y maestros de física actualmente en ejercicio, que se encuentran vinculados a la Secretaría de Educación Departamental de Nariño (SED-Nariño), de forma provisional o por nombramiento en propiedad, tanto del decreto 1278 como 2277. Otra meta de este trabajo de investigación consistió en llevar a cabo un diagnóstico del conocimiento del contenido de esta rama de las ciencias relacionada con la Teoría Especial de la Relatividad (TER). Un tercer objetivo fue establecer el conocimiento didáctico del contenido que los docentes tenían con respecto al dominio específico de la asignatura relacionada con la TER. Un último fin que se persiguió con esta tesis fue el de puntualizar el conocimiento que las profesoras y profesores de la asignatura en comento poseían sobre el entorno donde desempeñan su labor docente.

Por consiguiente, para poder alcanzar los objetivos propuestos en este trabajo de grado se tuvieron en cuenta las visiones propuestas por Solbes, Monserrat, Furió y otros autores, los cuales desarrollan sus aportes investigativos a la enseñanza de la Teoría Especial de la Relatividad

(TER) en la educación secundaria y media. El otro pilar teórico que sostuvo esta tesis se enmarca dentro del pensamiento de Shulman, Grossman, Barnet, Hodson y otros investigadores cuyas contribuciones han nutrido el concepto de Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC).

Por otro lado, para la recolección de la información se desarrolló una encuesta estructurada tomando como referentes los instrumentos contruidos por Loughran, Mulhall, Berry y Bertram. Esta herramienta para recoger datos se construyó teniendo como base los objetivos del presente trabajo e incluyó preguntas abiertas y cerradas. Una vez recolectada la información se procedió a realizar un análisis de la misma y con las respuestas obtenidas se realizó un estudio estadístico, el cual se complementó con una interpretación cualitativa de los resultados, lo que permitió concretar una investigación de tipo mixta.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El proceso de enseñanza de la física se ha visto limitado debido a que en el desarrollo educativo todavía perdura el imaginario estudiantil de que esta rama de las ciencias exactas y naturales es excesivamente difícil de aprender (Solbes, Montserrat, & Furió, 2007). Uno de los factores que se puede asociar a esta visión, se refiere a la formación de los docentes que trabajan asignaturas como física, *“ya que los maestros tienen una marcada tendencia en asociar o reproducir lo que fue elaborado durante su formación inicial tanto en lo conceptual como en lo metodológico, dentro de los espacios donde se desempeñan como maestros”* (Macias, 2014, pág. 18). Específicamente, en el Departamento de Nariño, donde en la actualidad no existe la licenciatura en física, por lo que se encuentran profesionales de áreas como: físicos, ingenieros electrónicos, ingenieros civiles, licenciados en matemáticas, matemáticos, entre otros profesionales que se han vinculado como docentes de la asignatura de física al sistema educativo colombiano y de quienes se considera importante caracterizar el Conocimiento Didáctico del Contenido, relacionado con la Teoría Especial de la Relatividad (TER).

Por otra parte, las estrategias metodológicas aplicadas por los profesores tienden a ser tradicionalistas, es decir, se usan procedimientos metodológicos donde el maestro es un expositor de temas y transmisor de conocimientos (Benavides, Bolaños, Portilla, & Riascos, 2014), convirtiendo al estudiante en un ente pasivo, que no se involucra de una manera protagónica en el proceso, más que en aceptar todo lo que escucha. Además, el desarrollo de las clases va acompañado de ejemplos y problemas habituales y repetitivos, que no involucran el contexto en el cual se desarrolla dicho proceso, lo cual indica que nos hemos quedado estancados en el tiempo y el estudiante o hasta el profesional recién graduado, no físico, se muestra perplejo ante las imágenes televisivas o noticias periodísticas, ante todo las relacionadas con la física contemporánea (Villareal, y otros, 2005).

Por ejemplo, *“si un estudiante ha escuchado hablar sobre agujeros negros, partículas, velocidad de la luz, metamateriales, fotónica, semiconductores, superconductividad o sobre antimateria ha sido a través de series de televisión”* (Buitrago, 2019, pág. 1), películas de ciencia ficción o en internet y no en su clase de física en el colegio o en la universidad, siendo que esa física viene desde hace 100 años con aplicaciones actuales (Ostermann & Moreira, 2000). Esto conlleva al bajo interés y desmotivación por el estudio de la física, dada la insuficiente conexión con la vida diaria y por lo que les resulta poco atractiva (Villareal et al., 2005).

Esto debe ser motivo de inquietud y cambio en la realidad educativa del aula, ya que estos avances científicos son fundamentales y necesarios para entender la realidad. No obstante, en la escuela, la física clásica de Newton y Maxwell goza de un lugar privilegiado entre los docentes y por supuesto en el currículo, lo cual ocasiona que la física moderna sea presentada de una forma superficial y en algunos casos ni siquiera existe un acercamiento a ella, en total contraste con la importancia que tiene en el desarrollo científico y tecnológico (Macias, 2014). En Colombia la enseñanza de la física moderna y contemporánea es presentada con grandes dificultades, ya que realmente en los salones de clase de la educación básica y media no se enseña (Muñoz, Ramos, & Marmolejo, 2019).

Quizás una de las primeras preguntas a formularse sería: ¿Se justifica la enseñanza de la Teoría de la Relatividad en la Educación Secundaria en Colombia?, la respuesta, sin duda es sí. La introducción del tópico de física moderna y contemporánea, tal como es el caso de la Teoría Especial de la Relatividad (TER), en la educación secundaria, suscita en los estudiantes una visión más cercana al desarrollo de la ciencia, conjuntamente permite canalizar el interés por la ciencia y la tecnología, además de trazar diferencias epistemológicas y de validez entre la física clásica y la física contemporánea (Pérez & Solbes, 2003). De igual manera, la enseñanza de la TER amplía la comprensión de los conceptos de espacio, tiempo y energía (Tarín, 2000).

Se parte de la idea que la física clásica es necesaria para la comprensión de los fenómenos naturales de los cuales se atestiguan a diario. Sin embargo, los conceptos de espacio, tiempo y energía no pueden seguir siendo enseñados desde la física clásica porque sería limitada, escasa y acrítica. Además, Buitrago (2019) menciona que al enseñar la física moderna se estimula la curiosidad y es preciso que los educandos tengan acercamiento con la física que se desarrolló a inicios del siglo XX, ya que ésta los incentiva a la elección de carreras científicas; además, las dificultades que puede presentar el proceso educativo de la física moderna no son muy diferentes a las de la clásica (Buitrago, 2019); de ahí la importancia de una enseñanza de la ciencia del tiempo en el que vivimos, no detenida en los siglos pasados y, claro está, inspirada en el contexto.

Lo anterior permite advertir que en el proceso de enseñanza de la física se tendrían que incluir y desarrollar los contenidos referentes a la TER en los diseños curriculares de las instituciones de educación secundaria y media (Ostermann & Moreira, 2000), ya que estos

ayudarían a motivar e interesarían a los estudiantes, despertando en ellos una perspectiva de lo importante que es esta área de las ciencias en su diario vivir (Solbes J., 2013).

No obstante, resulta relevante reflexionar sobre la metodología de la enseñanza de la TER, sus propósitos y la evaluación de la misma.

1.1. Formulación del problema de investigación

¿Cómo se enseña la Teoría Especial de la Relatividad (TER) en las instituciones educativas públicas de la entidad territorial certificada Departamento de Nariño (SED-Nariño)?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Caracterizar el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) por parte de los docentes en el proceso de enseñanza de la Teoría Especial de la Relatividad (TER) en las instituciones educativas públicas del Departamento de Nariño (SED-Nariño).

1.2.1.1. Hipótesis. Los docentes de Física del Departamento de Nariño no enseñan la Teoría Especial de la Relatividad y quienes lo hacen evidencian limitaciones en el proceso.

1.2.2. Objetivos específicos

- Establecer el conocimiento didáctico general de los docentes de física de las instituciones educativas públicas del Departamento de Nariño.
- Diagnosticar el conocimiento del contenido con relación a la TER de los docentes de física de las instituciones educativas públicas del Departamento de Nariño.
- Precisar el conocimiento didáctico del contenido (CDC) con respecto a la Teoría Especial de la Relatividad de los docentes de física de las instituciones educativas públicas del Departamento de Nariño.
- Determinar el conocimiento contextual de los docentes de física.

1.3. Justificación

Desde el horizonte socio-crítico, la física es una rama de las ciencias empírico-analíticas de gran importancia para la humanidad, ya que los avances científicos han formado parte fundamental de la mayoría de innovaciones que impactan en el diario vivir. Por otra parte, es necesario que los estudiantes adquieran o refuercen los conocimientos referentes a esta asignatura

para comprender e interpretar el funcionamiento y la razón de algunos procesos o fenómenos que se presentan en su entorno y la naturaleza en general (Redondo, 2005). Por tanto, se requiere un proceso de enseñanza fundamentado y contextualizado, como también de un aprendizaje significativo por parte de los jóvenes y señoritas de la secundaria, buscando que ellos encuentren la satisfacción y la felicidad en todo lo que aprenden, enseñándoles lo que realmente es práctico y que no estudien únicamente para aprobar un examen; porque si lo realizan con ese propósito, realmente no están aprendiendo para sus vidas (Moore, 2018).

Las Teorías de la Relatividad (TR) y Cuántica hacen parte de la nueva ciencia que se originó a inicios del siglo XX. La Teoría Especial de la Relatividad (TER) que constituye una parte de la TR y es relevante porque propicia una visión crítica de cómo se construye la ciencia, por lo que es necesario un proceso de enseñanza fundamentado y contextualizado. Para impartir la asignatura y sus avances con cierta propiedad, el docente debe contar con un conocimiento profesional como lo denominó Shulman (1983), el cual es desagregado por Grossman (1990) en 4 grupos de conocimiento: didáctico general, del contenido, didáctico del contenido y del contexto (Acevedo, 2009).

Cabe resaltar, que el proceso académico de esta rama de las ciencias empírico-analíticas en la educación media presenta resultados poco favorables, los cuales pueden verse reflejados en varios factores como los resultados académicos dentro de las instituciones educativas y en pruebas externas, el poco gusto e interés por seguir el estudio de la física como carrera profesional. Como lo mencionan Solbes, Montserrat y Furió (2007) *“la apreciación que tienen los estudiantes hacia la clase de física, es negativa, donde su punto de vista radica en que está es excesivamente difícil, aburrida y alejada de su vida cotidiana”* (Solbes, et al., 2007, pág. 22). Una enseñanza descontextualizada de la sociedad y del entorno, poco útil en la vida cotidiana y sin temas de actualidad, aunada a un método tradicional y poco participativo y a la falta de confianza en el éxito cuando son evaluados (Pérez & Solbes, 2006); son algunos de los factores que explican el poco interés de los estudiantes y los resultados desfavorables ya descritos. Además, de los altos índices de deserción a nivel universitario que se presentan en el estudio de la física (Portilla, 2011), etc.

Lo anterior lleva a cuestionar si realmente se está enseñando de acuerdo al desarrollo técnico científico del momento o si los currículos están desactualizados, si se está formando a los jóvenes para la época en la que están viviendo y en prospectiva y la necesidad de analizar e

interpretar qué sucede en el proceso de enseñanza de la física. El enseñar física moderna y dentro de esta, la TER, se ha vuelto algo indispensable en la educación media, como lo mencionan Pérez y Solbes (2006).

El enseñar la física moderna permite reflexionar acerca de la creación de la ciencia y la evolución de conceptos, proporciona un marco de validez general para la forma de las leyes físicas, facilita una mayor comprensión de la física clásica al mostrar los límites de validez de sus principales conceptos: espacio, tiempo, masa, cantidad de movimiento, energía, ilustra acerca de las relaciones física-cultura-sociedad, la importancia en el pensamiento filosófico y en la cultura general de la teoría (y sus mistificaciones) que se prolonga hasta hoy y por último y no menos importante, por el interés que manifiestan los alumnos, ya que la relatividad cuestiona los conceptos básicos de tiempo y espacio. (Pérez & Solbes, 2006, pág. 2)

Además, la importancia de la física moderna en la sociedad no sólo radica en sus aportes a los desarrollos tecnológicos, sino también por su influencia en el pensamiento del tiempo en el que nos encontramos (Pérez & Solbes, 2003) y con ello despierta la curiosidad de los alumnos y los ayuda a reconocer la física como una empresa humana y, por lo tanto, cercana a ellos (Ostermann & Moreira, 2000), que no solo hace parte de la ciencia ficción recreada en documentales, películas y series.

Con el desarrollo del presente trabajo se buscó caracterizar la manera cómo se estaba llevando a cabo el proceso de enseñanza de la TER en la educación media en las instituciones públicas de la entidad territorial certificada Departamento de Nariño (SED-Nariño), esto con apoyo del grupo de investigación GIDEP de la Universidad de Nariño.

2. MARCO REFERENCIAL

Los antecedentes de investigación son un marco referencial que permite conocer el estado en el que se encuentra un determinado tema. Además, abren la posibilidad de aportar eficientemente al conocimiento desde distintos escenarios que permiten contextualizarlo y partir de lo que ya se ha hecho hacia la posibilidad de reconocer una problemática específica e intervenir en ella.

2.1 Antecedentes de investigación

El tema a tratado en este proyecto de investigación se basó en aspectos de la enseñanza de la física moderna y en el caso particular de la Teoría Especial de la Relatividad en el bachillerato, lo mencionado anteriormente es tema de estudio en los diferentes contextos, se tomarán algunos trabajos realizados como punto de partida para el presente.

2.1.1. Contexto internacional. Al centrarnos en este contexto tenemos algunas investigaciones relacionadas, entre estas, la realizada por Aloy (2017) en la Universidad de la Plata (Argentina), en la cual nos da a conocer que es importante e imprescindible enseñar la física clásica, pero debido al avance de la ciencia es relevante incluir conocimientos del último siglo en los programas escolares, ya que éste es un ámbito propicio para llevar a cabo una alfabetización científica; en ese sentido el conocimiento científico es fundamental en la formación ciudadana. Por tanto, divulgadores científicos y docentes deben establecer un nexo entre la comunidad científica y la sociedad. También es relevante la actualización continua de los comunicadores y políticas que favorezcan este intercambio (Aloy, 2017). Además, *“que la incorporación progresiva de conceptos a través de argumentaciones, ejemplos de situaciones, analogías, cuestionamientos generaron ‘necesidad cognitiva’ en los alumnos y favorecieron la trasposición didáctica logrando un aprendizaje significativo”* (Aloy, 2017, pág. 76).

Por otro lado, encontramos el trabajo realizado por Del Pozo (2017) en la Universidad de la Rioja (España), en esta investigación se resalta la necesidad de la alfabetización científica para formar personas capaces de tomar decisiones en su vida diaria, desde la comprensión del mundo que les rodea entendiendo que la ciencia, la tecnología y la sociedad se influyen mutuamente. Como consecuencia, la necesidad de presentar la física del siglo XX a los estudiantes de hoy, mostrando que la física moderna y dentro de esta, la Teoría de la Relatividad (TR), han revolucionado el mundo de la ciencia. Todos los estudiantes deben tener conocimientos básicos sobre la relatividad, ya que su importancia radica en que va más allá de la propia ciencia y de sus

desarrollos tecnológicos, generando influencia en el pensamiento y la cultura de su tiempo. En adición, para superar el desinterés por la ciencia, hay que cambiar la enseñanza de la misma, haciéndola más contextualizada, más útil y actualizada, más participativa y que los futuros profesores de secundaria conozcan y manejen la historia, la filosofía y la epistemología de su disciplina con cierto detalle, principalmente sobre aquellos temas y contenidos vinculados con el currículo de secundaria y con los problemas derivados de su enseñanza (Del Pozo, 2017).

En este mismo contexto, tenemos el trabajo realizado por Prodanoff (2015) en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Argentina), en este estudio se presenta una secuencia didáctica para la enseñanza de los conceptos básicos de la TER en la escuela secundaria, en la cual señala que la enseñanza de la relatividad genera curiosidad e interés por las ideas que han revolucionado el siglo pasado y que se oponen a la intuición en nuestra vida cotidiana. Además, que la obra de Einstein hace parte de la cultura popular, de manera inadecuada desde el punto de vista científico, lo cual da una razón más para que la física relativista deba ser abordada de manera académica en la escuela. Para tal proceso, se puede partir de los conocimientos previos que poseen los estudiantes sobre la física clásica para luego cuestionarla con la introducción de nuevos postulados; es decir, para arribar desde la clásica a los resultados cinemáticos de la Teoría Especial de la Relatividad. Por tal razón, se *“requiere un diseño curricular en la educación secundaria que revalorice la física clásica con la mirada puesta en la física contemporánea, puesto que la TER lo conserva y lo generaliza”* (pág. 132). Todo teniendo en cuenta el contexto del aula y sin olvidar los aspectos didácticos que son ineludibles (Prodanoff, 2015).

Adicionalmente, contamos con la tesis de doctorado realizada por Fernández (2014) en la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina), este trabajo se fundamenta en la necesidad de analizar la formación de los profesores de física, en temas de física moderna, ya que una pobre formación en la temática por parte de los docentes influye en la postergación de la inclusión en el currículo de dichos contenidos, teniendo en cuenta que esos modelos han posibilitado innumerables avances tecnológicos que contribuyen a la cotidianidad de las personas y que hoy en día están al alcance de todos, por ello es necesario que estos contenidos no queden por fuera de la enseñanza habitual (Fernández, 2014).

Al mismo tiempo, Fernández plantea que la visión del mundo y de la realidad se ha reformado sorprendentemente tanto para el hombre de ciencia como para el individuo del común,

pero la incesante producción de nuevos conocimientos no fue acompañada de una actualización en la alfabetización científica general. Contradictoriamente, los contenidos escolares se han quedado estancados en el tiempo, limitados a la descripción de la física desarrollada hasta el siglo XIX, *“los profesores se limitan principalmente a la física clásica y dentro de ella, a los temas que acostumbran a desarrollar en su práctica docente”* (pág. 357). Dejando para los especialistas la interpretación de los nuevos modelos que explican el mundo en el que hoy vivimos. Conjuntamente el autor afirma que en muchos países se están llevando a cabo reformas educativas para buscar una alfabetización científica y tecnológica (Fernández, 2014).

2.1.2. Contexto nacional. En este contexto tenemos el trabajo realizado por Galvis (2019) en la Universidad Autónoma de Manizales, en el cual se estudia una unidad didáctica para la enseñanza de la TER con el propósito de potenciar habilidades de pensamiento crítico en estudiantes de grado décimo de una institución educativa del municipio de Valencia (Córdoba). En éste destaca que la enseñanza de la Teoría Especial de la Relatividad ayuda a formar en los estudiantes una percepción de la importancia innegable de la física y en general de las ciencias naturales para su desarrollo ético, social y científico, ya que consolida las habilidades de pensamiento crítico y la alfabetización científica, las cuales mejorarán en los estudiantes la comprensión del mundo y del universo para que puedan adaptarse a las exigencias, desafíos y cambios que su contexto social les presente (Galvis, 2019).

Asimismo, la enseñanza de la TER despierta la motivación para la elección de carreras en ciencias básicas; ayudándolos a reconocer la física como una empresa humana y por lo tanto cercana a ellos. Por otro lado, esta investigación da a conocer que para diseñar unidades didácticas referentes al tema *“exige la capacitación y actualización del docente en la parte disciplinar, debido a que, los temas de física moderna no se profundizan en las carreras de licenciatura”* (Galvis, 2019, pág. 13).

Otro trabajo en el que nos apoyamos es la investigación realizada por Torres (2018) en la Universidad Nacional de Colombia, en la cual da a conocer:

Que la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica son teorías que aportaron poderosas herramientas para resolver los grandes enigmas de la naturaleza e hicieron posible el gran desarrollo tecnológico que hoy atestiguamos. Sin embargo, este resurgir de la física no tuvo el alcance suficiente como para llegar a las escuelas y sacudir sus currículos y paradigmas científicos sobre los que se sustentaba. Apenas en las últimas décadas se comenzaron a realizar

reflexiones frente a este nuevo reto, que suscitaron serios cuestionamientos, desde el punto de vista metodológico y epistemológico, a los procesos de enseñanza y aprendizaje de la física que habitualmente se siguen en la escuela. (Torres, 2018, pág. 16)

Lo mencionado trae como consecuencia que los educandos no solo se vean alejados de algunos de los avances más significativos de la ciencia, sino también de la oportunidad de familiarizar con nuevas formas de pensar, imaginar y comprender la naturaleza. Lo cual se debe:

A maestros poco interesados o sin la capacitación necesaria, carencia de material didáctico y escaso tiempo para abordar todos los contenidos propuestos en los estándares curriculares de física. Pero debe ser un deber ético de los maestros de física revelarse contra esta problemática y, en coordinación con sus colegas, promover cambios en las estructuras curriculares a nivel nacional que susciten una educación en ciencias con mayor pertinencia y calidad. (Torres, 2018, pág. 20)

2.1.3. Contexto regional. En este ámbito, encontramos la tesis doctoral titulada: Enseñanza de la estructura atómica de la Materia en Colombia, desarrollada por Muñoz (2020) en la Universidad de Nariño. En esta investigación se concluye que en Colombia la enseñanza de la Teoría Atómica no se lleva a cabo tomando como base la teoría Cuántica. Si bien, no se trabaja la Teoría de la Relatividad específicamente, si se trabaja la ciencia moderna y plantea como problemática: la falta de preparación de los docentes, los errores conceptuales de los libros de texto y las omisiones de los estándares curriculares que limitan la enseñanza de la ciencia moderna en nuestro país (Muñoz, 2020).

2.2 Marco contextual

Desde la generalidad, la Real Academia de la Lengua define el vocablo ‘*contexto*’ como el “*entorno físico o de situación, político, histórico, cultural o de cualquier otra índole en el que se considera un hecho*” (RAE, 2020).

En relación a un trabajo de investigación y de una forma más cercana a nuestro propósito, la contextualización es definida de la siguiente manera:

Una reflexión crítica del alumno acerca del tema y su contexto envolvente, la cual se denomina principio de la investigación, ubicar el objeto de estudio dentro de su contexto, describir los hechos y realidades que lo circundan, los aspectos, interrogantes y las relaciones que se presentan, definiendo claramente los alcances, el área de estudio, que describen

límites por el norte son el departamento del Cauca, por el sur con la república del Ecuador, por el oriente con el departamento del Putumayo y por el occidente con el Océano Pacífico (Figura 1).

2.2.2. División administrativa. El Departamento se conforma por 64 municipios: Pasto, Ipiales y Tumaco como entes territoriales certificados; además tenemos 230 corregimientos, 416 inspecciones de Policía, numerosos caseríos y sitios poblados (Gobernación de Nariño, 2020).

2.2.3. Instituciones educativas. La entidad territorial certificada Secretaria de Educación Departamental de Nariño (SED-Nariño) cuenta con 2074 Establecimientos educativos en los 61 municipios no certificados de Nariño. En el siguiente cuadro se refleja cómo se encuentran distribuidos los establecimientos educativos en esos municipios.

Tabla 1: Instituciones educativas y centros educativos 61 municipios no certificados del departamento de Nariño (Oficina de planeación educativa, 2018).

Año	Instituciones Educativas casco urbano (I.E)	Centro Educativos zonas rurales (CE)	Total
2017	236	1.838	2.074

En la tabla 1 se puede observar que la mayoría de establecimientos educativos se encuentran en zona rural, debido a que el Departamento de Nariño es uno de los departamentos que cuenta con mayor dispersión poblacional y geográfica de Colombia, esta ruralidad puede afectar a las sedes educativas del Departamento en temas logísticos, de desplazamiento y mejoramiento infraestructural del sector, como para la prestación del servicio educativo (Oficina de planeación educativa, 2018).

2.2.4. Asignación académica de la asignatura de física. En el decreto 1850 del 2002 emitido por el gobierno de entonces y direccionado por el ministerio de educación nacional establece en el artículo 2 que el horario de clase será definido por los directores de cada institución, lo cual implica que se presente una diversidad en la asignación académica de física dependiendo de la modalidad de la institución.

2.3 Referente teórico conceptual

La investigación en didáctica de las ciencias naturales ofrece un prolijo marco conceptual, a la luz del que se caracterizó la enseñanza de la TER en el Departamento de Nariño.

En algún momento, el proceso educativo se basó en la transmisión de valores y saberes, en el cual encontrábamos a una persona responsable de transmitir dichos conocimientos a otra u otras, por lo tanto, teníamos un sujeto que enseñaba y otros que aprendían. No obstante, se

dificulta limitarse a la idea de que este proceso sea solo una transferencia de contenidos, es decir, un proceso unilateral; por el contrario, éste invita a la interactividad. Como lo apunta Freire “*el conocimiento no se transmite, se está construyendo: el acto educativo no consiste en una transmisión de conocimientos, es el goce de la construcción de un mundo común*” (Martínez & Sánchez, 2020, pág. 10), ya que, los que están aprendiendo también pueden enseñar y con esto construir un conocimiento social y participativo (Pérez & Merino, 2015).

Además, es preciso tener en cuenta lo mencionado por Ospina (2010) “*en la educación debe prevalecer la convivencia y la solidaridad antes que la rivalidad y la competencia*” (pág. 5), lo cual nos resalta la necesidad de atenuar en las escuelas la marcada tendencia a ser superior al otro entre los estudiantes; ésta competencia en lugar de traer beneficios, trae efectos contrarios, relegando a la gran mayoría como inferiores o perdedores, lo cual ocasiona en varios de ellos una baja autoestima y poca motivación hacia el estudio; es más, acabando poco a poco con lo que realmente debería ser importante en la escuela, las relaciones interpersonales con sus compañeros y profesores y la formación integral, es decir, educar personas competentes no competitivas (Ospina, 2010).

En el proceso educativo de la física se busca que los estudiantes adquieran o complementen ciertos conocimientos referentes al área en cuestión que son esenciales para la interacción y el desarrollo social, es decir, lo más importante en éste es que se produzca un aprendizaje que permita proporcionar una cultura científica ubicada en el contexto actual (Parra & Santos, 2014). Por lo anterior, es indispensable la enseñanza de la física moderna y contemporánea, las cuales:

Se ocupan principalmente de fenómenos que se producen a la velocidad de la luz o valores cercanos a ella, también de fenómenos a escala sub-atómica y fenómenos a escala espacial. Cuando se habla de Física Moderna y contemporánea, normalmente se refiere a Teoría de la Relatividad, Mecánica Cuántica, Física Nuclear y Física Estadística. (Muñoz, Ramos, & Marmolejo, 2019)

La enseñanza de la física moderna y específicamente de la TER no solo permite avanzar en el conocimiento que se trabaja en el aula, sino que además responde a los intereses de los estudiantes y permite trabajar situaciones relacionadas con el componente de ciencia, tecnología y sociedad (Pérez & Solbes, 2003). Este proceso, debe iniciar con una participación por parte de los estudiantes en las actividades y dentro del desarrollo de la clase, que se sientan dueños y

creadores de su propio conocimiento, partiendo del manejo de ideas previas (Pérez L. , 2017) y contextualizadas, relacionando lo enseñado con la realidad que se vive, es decir, obteniendo un aprendizaje significativo, el cual se manifiesta cuando la persona interactúa con su entorno y de esta forma construye sus representaciones personales de un hecho en cuestión, dándole sentido al mundo que percibe, para lo cual es necesario que el sujeto genere sus propios juicios de valor, que le permitan tomar decisiones con base a ciertos parámetros de referencia (Zapata, 2016).

Igualmente, para que se presente un buen proceso de enseñanza, el docente debe contar con: *“un conocimiento de la naturaleza de la ciencia (NdC), que se considera un contenido clave en las recientes reformas de la enseñanza de las ciencias implantadas en diversos países del mundo”* (Acevedo, 2009, pág. 1). La investigación en didáctica de las ciencias naturales nos ofrece un detallado marco conceptual, el cual se suscribe dentro de los aportes de Shulman en lo referido al Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), *Pedagogical Content Knowledge (PCK)*, el cual es un elemento central del conocimiento del profesor y resulta fundamental para promover el desarrollo profesional de los docentes de ciencias (Acevedo, 2009).

Para esta investigación, se tomó como marco conceptual el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) de Shulman porque se consideró que es un marco generoso y amplio que permite caracterizar la enseñanza de la TER.

2.3.1. Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC). Lo realizado por Shulman (1983) fue deconstruir el conocimiento del docente poniendo atención preferencial al papel que juega el entendimiento y transformación del contenido en el proceso de enseñanza. Lo que el profesor cree, es lo que el profesor transmite. Además, introdujo el concepto de Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) o *Pedagogical Content Knowledge (PCK)*, concepto que cuenta con innumerables referencias en la literatura actual del proceso de formación y evaluación docente.

Shulman en 1983 declaró la relación existente entre el área, disciplina o materia de estudio y su interacción con la pedagogía llevada al aula, en otras palabras, postuló que lo más importante para formar profesores es que sepan cómo impartir una clase de un tema de su especialidad (esta propuesta fue realizada en una conferencia en la Universidad de Texas titulada “El Paradigma Perdido en la investigación sobre la enseñanza”) (Shulman, 1986).

Para ello Shulman consideró las siguientes inquietudes:

- ¿Cómo hace el estudiante universitario distinguido, convertido en profesor novato, para canalizar su gran dominio sobre la asignatura de tal manera que los estudiantes de bachillerato le entiendan?
- ¿Cuáles son las fuentes de las analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones y reformulaciones que el profesor usa en el salón de clase?

En 1986, Shulman publica las ideas iniciales de sus investigaciones sobre la relación entre el contenido temático de la asignatura y la pedagogía y plantea que para localizar el conocimiento que se desarrolla en la mente de los maestros, era necesario identificar tres tipos del mismo:

- ✓ Conocimiento del contenido de la disciplina (CD).
- ✓ Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC).
- ✓ Conocimiento curricular (CC) (Shulman, 1986).

Sobre el Conocimiento Didáctico del Contenido, Shulman argumenta que *“es el conocimiento que va más allá del tema de la asignatura per se y que llega a la dimensión del conocimiento del tema de la asignatura para la enseñanza”* (Shulman, 1986, pág. 9). En otras palabras, el CDC es el saber de la disciplina para ser enseñada. La ciencia que llevan a cabo los científicos es muy diferente a la ciencia escolar. Lo que saben los grandes investigadores es muy diferente a lo que se transmite en la escuela.

En el CDC se incluyen *“las formas más útiles de representación de estas ideas; las analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones más poderosos; en pocas palabras, las formas de representación y formulación del tema que lo hace comprensible a otros”* (Shulman, 1986, pág. 9).

Además, el CDC también contempla lo que facilita o dificulta el aprendizaje de temas específicos: *“las concepciones o preconcepciones que los estudiantes de diferentes edades y antecedentes traen al aprendizaje de los tópicos más frecuentemente enseñados”* (Shulman, 1986, pág. 9).

Con base en lo anterior el maestro debe conocer el punto de partida de los estudiantes.

Para Shulman (1987) el proceso docente propiamente dicho se inicia cuando el profesor empieza con una planificación de su actividad, en el que se conjugan no solo contenidos, sino actividades e incluso se proyectan cuestionamientos y dificultades. Todo lo anterior, conjugado con el conocimiento tanto de didáctica general, como del contexto de trabajo, genera que el

docente pueda especificar para su enseñanza, evaluación, reflexión, una nueva comprensión para el futuro, con lo que se reiniciará otra vez un ciclo de reflexión (Acevedo, 2009).

La noción de Conocimiento Didáctico del Contenido se refiere a los modos en que los docentes comprenden y representan los temas disciplinares a los estudiantes, además, es un importante cuerpo de conocimiento, fundamental para la enseñanza de un saber particular y que se debe configurar como una de las contribuciones más poderosas y actuales de la investigación didáctica para la formación del profesorado (Valbuena, 2007). Los docentes competentes adoptan este modo de comprender y representar los temas disciplinares, quienes además de conocer los contenidos claves de la materia, conocen las estrategias para su enseñanza y anticipan las posibles dificultades y concepciones erróneas que traen sus estudiantes.

Como lo hace notar Grossman *“uno de los primeros desafíos que enfrentan los profesores principiantes se refiere a la transformación de su conocimiento disciplinar en una forma de conocimiento que es apropiada para los estudiantes y específica para la tarea de enseñanza”* (Martínez & Valbuena, 2013, pág. 9). De aquí el principal valor del CDC, ya que, brinda la posibilidad al profesor de integrar todos estos componentes, puesto que éste debe entenderse de manera holística, el cual tiene un desarrollo que está ligado sobre todo a la práctica docente y la reflexión de la misma. Teniendo en cuenta la realidad descrita al inicio, en que no todos los docentes son licenciados, el CDC hace que un conocedor de un tema se vuelva experto en el mismo, ya que, no solo se debe conocer el tema a dictar (contenido), sino también de epistemología del área, de didáctica, del contexto y del currículo, los cuales se integran en su quehacer.

Otras definiciones que complementan el CDC son:

Shulman acuñó la frase Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) defendiendo el hecho de que los maestros no solo deben saber y comprender el contenido de la disciplina que enseñan, sino también el cómo enseñar efectivamente ese contenido específico: saber lo que probablemente es fácil o difícil para aprender por parte de los estudiantes y cómo organizar, secuenciar y presentar el contenido para satisfacer los diversos intereses y habilidades de los estudiantes. Los profesores habilidosos transforman la asignatura en formas que son más accesibles para sus estudiantes. Para lograrlo, aprovechan el conocimiento pedagógico (conocimiento metodológico), pero lo adaptan al contexto específico de la asignatura, desarrollando de este modo el CDC (Barnet & Hodson, 2001).

Talanquer (2004) se aproxima al CDC como el conocimiento que desarrolla en un buen profesor la posibilidad de:

- ✓ Identificar las ideas centrales asociadas a un tema.
- ✓ Reconocer las probables dificultades conceptuales de los alumnos.
- ✓ Identificar preguntas, problemas o actividades que obliguen al estudiante a reconocer y cuestionar sus ideas previas.
- ✓ Seleccionar experimentos, problemas o proyectos que permitan que los estudiantes exploren conceptos centrales.
- ✓ Construir explicaciones, analogías o metáforas que faciliten la comprensión de conceptos abstractos.
- ✓ Diseñar actividades de evaluación que permitan la aplicación de lo aprendido en la resolución de problemas en los contextos realistas y variados. (Talanquer, 2004.)

Por su parte, Carlsen (1999) propone que el CDC debe incluir:

- ✓ Las concepciones alternativas de los estudiantes.
- ✓ El currículo científico particular.
- ✓ Estrategias instruccionales de los temas.
- ✓ Objetivos de la enseñanza.
- ✓ Planeación y administración de la evaluación (Carlsen, 1999).

Para identificar el CDC, la Doctora Pamela Grossman (1990) relaciona cuatro orígenes a partir de los cuales se genera y desarrolla:

- ✓ La observación de las clases, tanto en la etapa de estudiante como en la de profesor-estudiante.
- ✓ La formación disciplinaria.
- ✓ Los cursos particulares durante la formación como docente.
- ✓ La experiencia de enseñanza en el salón de clases (Grossman, 1990).

De Jong, Korthagen y Wubbels (1998) sostienen que a pesar de que existe claridad en que la experiencia dentro del aula es la mayor fuente del CDC de los maestros experimentados, el concepto forma parte de lo que se enseña hoy a los educadores en proceso de formación (De Jong, Korthagen, & Wubbels, 1998).

Baxter y Lederman (1999), por su parte, revelaron las dificultades para sistematizar el CDC de los profesores:

✓ No está asociado con una determinada lección o tema, sino que es una noción compleja que resulta ser reconocible únicamente en un periodo largo de tiempo.

✓ Es mantenido y conservado tácitamente por el profesor (Baxter & Lederman, 1999).

Loughran, Mulhall y Berry (2004) señalan dos herramientas para identificar el CDC:

- ✓ CoRe (Content Representation)
- ✓ PaP-eRs (Professional and Pedagogical Experience Repertoires) (Loughran, Mulhall, & Berry, 2004).

Loughran, Mulhall y Berry (2001) formulan un grupo de cuestionamientos para recolectar al Representación del Contenido (CoRe). Comienzan por extraer del maestro los conceptos centrales de su explicación de un tema y para cada idea estructural le hacen 8 preguntas:

1. ¿Qué pretende que los estudiantes aprendan alrededor de este concepto?
2. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender este concepto?
3. ¿Qué más sabes sobre este concepto?
4. Dificultades y limitaciones relacionadas a la enseñanza de este concepto.
5. Conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes que influye en su proceso de enseñanza de este concepto.
6. Otros factores influyen en la enseñanza de esta idea.
7. Procedimientos de enseñanza que emplea para que los alumnos se comprometan con esta idea.
8. Maneras específicas utilizadas para evaluar el entendimiento o confusión de los estudiantes sobre este concepto. (Loughran, Milroy, Berry, Gunstone, & Mulhall, 2001)

IMPORTANT SCIENCE IDEAS/CONCEPTS			
	Big idea 1	Big idea 2	etc
1. What you intend the students to learn about this idea?			
2. Why it is important for the students to know this?			
3. What else you might know about this idea (that you do not intend students to know yet)?			
4. Difficulties/limitations connected with teaching this idea.			
5. Knowledge about students' thinking which influences your teaching of this idea.			
6. Other factors that influence your teaching of this idea.			
7. Teaching procedures (and particular reasons for using these to engage with this idea).			
8. Specific ways of ascertaining students' understanding or confusion around this idea (include likely range of responses).			

Figura 2: Formulario para recolectar la representación del contenido (Loughran, Milroy, Berry, Gunstone, & Mulhall, 2001)

IDEAS / CONCEPTOS IMPORTANTES DE CIENCIA			
	Gran idea 1	Gran idea 2	Etc.
1. ¿Qué pretende usted que los estudiantes aprendan sobre esta idea?			
2. ¿Por qué es importante para los estudiantes saber esto?			
3. ¿Qué más usted debería saber sobre esta idea (que usted no pretenda que los estudiantes sepan aún?)			
4. Dificultades/limitantes asociadas a la enseñanza de esta idea.			
5. Conocimiento sobre el pensamiento de los estudiantes que influye sobre su enseñanza de esta idea.			
6. Otros factores que influyen su enseñanza de esta idea.			
7. Procedimientos de enseñanza (y razones particulares de su uso para articularlos con esta idea).			
8. Formas específicas de averiguar la comprensión o confusión de los estudiantes alrededor de esta idea (incluya probable rango de respuestas).			

Figura 3: Traducción del formulario para recolectar la representación del contenido (Loughran, Milroy, Berry, Gunstone, & Mulhall, 2001)

Y los repertorios de experiencia profesional y pedagógica_(PaP-eRs) abarcan:

1. Procedimientos de enseñanza específicos para el tópico como:

✓ Rol del maestro durante el proceso de enseñanza.

✓ Trabajo experimental.

✓ Demostraciones.

✓ Analogías y ejemplos.

✓ Problemas planteados a los estudiantes.

2. Discusiones con otros docentes sobre la enseñanza del tema.

3. Comentarios sobre la observación de clases y otras formas tradicionales de ver el conocimiento a través de la práctica (Bertram, 2012).

Table 2. Gordon's PaP-eR.

Introduction to the PaP-eR (Related to his CoRe's Big Idea A: "How rockets work") In this PaP-eR, the teacher recounted an activity which focussed on how rockets worked. More specifically, the teacher explained how he especially catered to the particular learning needs of one student. This PaP-eR provides rich insight into the teacher's thinking and reasoning underpinning his beliefs of teaching and learning in this unit.	
Gordon:	Our overall unit for the term was Space. ... It was all tied into literacy as well, so it was a very integrated curriculum that I teach. We were about to look at space shuttles and rockets and some different events that had happened, such as the Columbia space disaster. For the students to grasp that and make it more relevant, I wanted [them] to understand how rockets were propelled, and I thought of a fun way to do that.
	Here, Gordon associated a 'fun' activity with making this particular content relevant to his students.
	Very, very simple: fishing line, balloons, straws, a paper bag and that was basically it. They're the materials. I had a [work]sheet and we talked about it and then the students actually got to follow the instructional piece of writing and design their own spaceships — just as a means of making it more individualized.
	It seemed likely that Gordon believed "individualized" activity allowed students to own their learning.
	The students got to build their own rockets and we had races. You know, they love to be competitive ...
	This is an insight into how he used this activity to foster student engagement (under the guise of 'fun') as a means of connecting students with this particular content.
I:	What did it feel like teaching, ... [in terms of] pedagogical content knowledge specifically?
Gordon:	It was very beneficial ... It was good for me because I thought it would increase my own knowledge ...
	Gordon appreciated the benefits of having an awareness of PCK and what it did for his own professional knowledge.
I:	I want to know more about what you taught and how you taught it. Can you think now of a specific instance where a student may have asked you a question and then how you went about answering it?
Gordon:	The kids wrote their questions on a star — one of the questions that was asked was, "How do rockets work?" So, I wanted to try and answer that question and I had to go back and obviously research it because I don't personally have experience with flying rockets. So, I devised this way of communicating to this student, as well as the others — a way that was more relevant, and the child that asked this particular question ... doesn't really do very well if you verbally tell him something. He needed to develop it for himself and so the instructional piece of writing that I developed for the kid, and that I gave to the other children as well, allowed him to understand how rockets worked better than me just standing there telling him or writing it on the board.
	This paragraph is clear evidence of Gordon's consideration of how best he catered to specific individual learning needs. It demonstrates how he understood his students' abilities and way of learning. In this regard, the activity was not superfluous — it was well thought about and crafted.
	So, I was answering that kid's specific question as an example. There were other questions, obviously from the twenty-four children, and some of them had more than one question. In some instances, I had the other kids, in their literacy groups, answer another child's questions and they shared the knowledge together. And in other instances where I thought that the question had occurred many times, then I would pinpoint it to the whole group and we would do an activity based on those questions.
	Gordon kept his teaching approach flexible in this task, allowing students to guide the direction of the lesson.
I:	What indications were there to you that the kid actually understood?
Gordon:	Yeah, good question. We talked about propulsion and how rockets fly, and [the child] actually talked to me at recess afterwards and he just seemed interested in the topic ... So, once we had done that lesson, he had just wanted to talk about it some more. And that interest in what we were doing was really great to see — even though it took up my recess — but it was really great to see that he wanted to follow it up and discuss it some more.
	Gordon appeared to be excited when he discovered that learning had taken place in his students. This perhaps reveals something about his teaching attitude for this particular topic.
	And then I think it was further enhanced when we looked in the literacy books about the space shuttle, challenges of sending a space shuttle up and the disasters and everything. And then at the end of the term, we did the post-test. And when I looked at the post-test he had mentioned how rockets fly and different disasters that he had read about and things of that nature. So, obviously, sort of surprisingly too, it had actually stayed with him and he remembered some of the content and he was able to, several weeks later, write down what it was that he learnt.

Figura 4: Ejemplo de un PaP-eR extraído de "CoRes and PaP-eRs as a strategy for helping beginning primary teachers develop their pedagogical content knowledge" (Bertram, 2012, págs. 293-303).

"Tabla 2 PaP-eR de Gordon

Introducción al PaP-eR. (Relacionado con la Gran Idea A de su CoRe: ¿Cómo funcionan los cohetes?) En este PaP-eR, el profesor narró una actividad enfocada en el funcionamiento de los cohetes. Más específicamente, el docente explicó cómo suplió las necesidades particulares de aprendizaje de un estudiante. Este PaP-eR brinda una visión abundante del pensamiento y razonamiento del profesor apoyando sus creencias de la enseñanza y aprendizaje en esta unidad. Gordon: nuestra idea general para el periodo fue El Espacio. También estaba totalmente vinculada a la alfabetización e igualmente integrada al currículo que enseñó. Estábamos a punto de mirar naves espaciales y cohetes y otros eventos diferentes que habían ocurrido, como por ejemplo el desastre espacial del transbordador Columbia. Para hacerlo más relevantes y que los estudiantes lo captaran, quise que entendieran cómo se impulsan los cohetes y pensé en una forma divertida de hacerlo. ↑ Gordon relacionó aquí una actividad divertida con hacer relevante este contenido para sus estudiantes. Muy, pero muy sencillo. Los materiales básicos fueron hilo para pescar, globos, pitillos y una bolsa de papel. Yo tenía un bosquejo y hablamos sobre eso, luego los estudiantes se dedicaron a seguir la pieza instruccional y a diseñar sus propias naves espaciales. Una manera de hacerlo un poco más individualizado. ↑ Parece probable que Gordon creyera que una actividad "individualizada" permitiría a los estudiantes apropiarse de su aprendizaje. Los estudiantes tuvieron que construir sus propios cohetes y tuvimos competencias. Usted sabe, a ellos les gusta ser competitivos. ↑ Esta es una percepción sobre cómo él uso esta actividad para fomentar el compromiso de los estudiantes (bajo la apariencia de "diversión") como un medio de conectar a los estudiantes con este contenido específico. Entrevistador: ¿Qué le pareció enseñarlo, (desde el punto de vista) del conocimiento didáctico del contenido? Gordon: Fue muy beneficioso. Fue bueno para mí porque pensaba que aumentaría mi propio conocimiento. ↑ Gordon valoró las ventajas de tener conciencia del CDC y lo que esto hizo por su propio conocimiento profesional.

Figura 5: Parte 1 traducción PaP-eR extraído de "CoRes and PaP-eRs as a strategy for helping beginning primary teachers develop their pedagogical content knowledge" (Bertram, 2012, págs. 293-303).

Entrevistador: Quiero saber más sobre lo que usted enseñó y cómo lo enseñó. ¿Puede pensar en una ocasión específica en la que un estudiante le haya preguntado sobre algo y cómo hizo para resolver dicha inquietud?

Gordon: Los niños escribieron sus preguntas en una estrella – Una de las preguntas que me hicieron fue: “¿Cómo funcionan los cohetes?”. Así que quise intentar responder dicha pregunta y tuve que retroceder y obviamente consultarlo porque personalmente no tengo experiencia con cohetes voladores. Así que pensé esta manera de comunicarlo a este estudiante, así como a los demás – una forma que fuera más significativa y que el niño que preguntó esto en particular, no lo haga bien si usted le dice algo. Él necesitaba desarrollarlo por sí mismo y también la pieza instruccional escrita que desarrollé para el niño y que también les di a los otros niños, le permitió comprender como funcionaban los cohetes mejor que si yo estuviera parado frente a él diciéndoselo o escribiéndolo en el tablero.

Este párrafo es evidencia clara de la consideración de Gordon sobre la mejor manera que él resolvió necesidades particulares de aprendizaje. Esto demuestra cómo él comprendió las habilidades de sus estudiantes y su forma de aprendizaje. A este respecto, la actividad no fue superficial. Fue muy bien pensada y elaborada.

Entonces, estaba respondiendo con un ejemplo la pregunta particular de ese niño. Se presentaron otras preguntas, obviamente de parte de los veinticuatro niños y algunas de ellos formularon más de una pregunta. En algunos casos, yo tenía los otros niños, en sus grupos de alfabetización, responder otra pregunta de un niño y juntos compartieron el conocimiento. En otras ocasiones en las que pensaba que la pregunta había sido formulada muchas veces, yo la expliqué a todo el grupo e hicimos una actividad con base en esas preguntas.

Gordon mantuvo flexible su enfoque de enseñanza en esta tarea, permitiendo a los estudiantes conducir la dirección de la lección.

Entrevistador: ¿Qué indicios encontró para verificar que los niños realmente comprendieron?

Gordon: Sí, buena pregunta. Hablamos sobre propulsión y sobre cómo vuelan los cohetes y (el niño) realmente me habló en un recreo siguiente y él sólo parecía interesado en el asunto. Así que, una vez que terminamos esa lección, él sólo quiso hablar algo más sobre el asunto. Y ese interés sobre lo que estuvimos haciendo era realmente maravilloso – aunque ocupó mi descanso – pero era verdaderamente grandioso ver que él quería profundizar y discutir un poco más sobre eso.

Gordon pareció emocionarse cuando él descubrió que el aprendizaje había sucedido en sus estudiantes. Esto quizás revela algo sobre su actitud en la enseñanza de este tema en particular.

Y entonces creo que fue más allá cuando miramos los libros de alfabetización sobre la nave espacial, los desafíos de lanzar una nave y los desastres y todo lo demás. Y luego, al final del periodo, hicimos la prueba posterior. Y cuando mire el examen final, él había mencionado cómo volaban los cohetes y varios desastres sobre los cuales había leído y cosas por el estilo. Así que, obviamente, también un poco sorprendido, había guardado y recordado algo del contenido y él chico era capaz de, varias semanas después, escribir sobre lo que él aprendió.”

Figura 6: Parte 2 traducción PaP-eR extraído de “CoRes and PaP-eRs as a strategy for helping beginning primary teachers develop their pedagogical content knowledge” (Bertram, 2012, págs. 293-303).

2.3.2. Teoría Especial de la Relatividad (TER). Esta teoría fue elaborada por Albert Einstein a principios del siglo XIX. Sin embargo, Einstein no fue el primero en construir una teoría del movimiento que fuera exitosa, ya que, Galileo Galilei realizó trabajos referentes a esta temática y posteriormente Isaac Newton, el cual realizó sus trabajos basados en lo hecho por Galilei y Kepler construyendo las teorías del movimiento y la gravedad.

La teoría de Newton funcionó perfectamente durante más de 200 años (y todavía lo hace hoy en la mayoría de las aplicaciones) y logró explicar los movimientos de los objetos tanto en el Cielo (los planetas, lunas, cometas, etc.) como en la Tierra (todo lo que ves a tu alrededor). (Takeuchi, 2010, pág. 2)

No obstante, finalizando el siglo XIX, apareció un misterio que no podía ser interpretado con la teoría de Galilei-Newton, la velocidad de la luz. La teoría que dio una solución al misterio fue la Teoría Especial de la Relatividad de Einstein. (Takeuchi, 2010).

A continuación, se describirá algunos de los hechos que llevaron a Albert Einstein a la elaboración de la Teoría Especial de la Relatividad (o Relatividad Restringida). Por otro lado, es de suma importancia tener en cuenta que las teorías no son formuladas de forma independiente, ni repentina, sino que son resultado de una evolución constante, donde nuevas teorías surgen con aportes de teorías anteriores (Wolff & Mors, 2005).

2.3.2.1. La relatividad galileana. Para dar la ubicación de un objeto en el espacio en cada instante de tiempo, se lo debe hacer especificándolo respecto a otra cosa.

Por ejemplo, si se considera una nave espacial viajando en un universo vacío, en el cual no hay nada más, para dicho objeto es imposible dar una ubicación, es más, éste concepto no tiene sentido en esa situación. Ya que, la ubicación adquiere razón de ser cuando se la puede especificar con relación a otro objeto, en este caso si hubiera estrellas, planetas u otra cosa, como otra nave, se podría especificar una ubicación (Takeuchi, 2010).

Es decir, lo que se necesita para definir una posición es un punto de referencia fijo a alguna cosa, al cual se le llama origen, después de esto se puede detallar la ubicación del objeto.

Por ejemplo, que un objeto está x metros al este, y metros al norte y z metros hacia arriba respecto a un punto de referencia. Es decir, se puede asociar un conjunto de números (x, y, z) como ubicación de un punto en el espacio respecto a un origen definido. Claro está que es necesario contar con las herramientas para realizar las medidas correspondientes, y además se

necesita especificar lo que queremos decir con este-oeste, norte-sur, derecha-izquierda, arriba-abajo (Takeuchi, 2010).

Por ejemplo, obsérvese la figura 7 e intente contestar el interrogante, ¿a qué lado del camino se encuentra la pelota?, ¿a la izquierda o a la derecha?

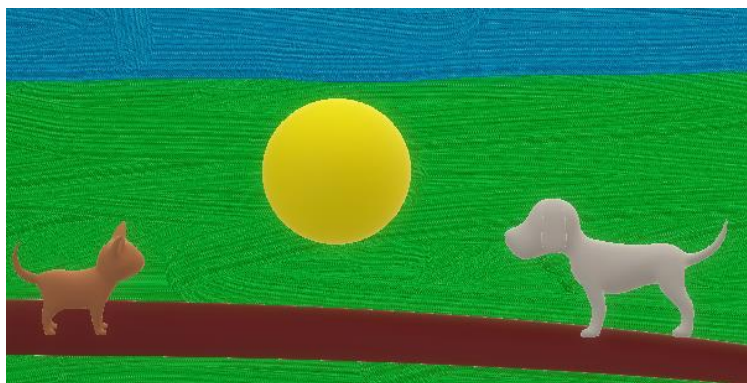


Figura 7: ¿A qué lado está la pelota?, elaboración del autor.

Inicialmente, parece difícil responder al interrogante. Si se toma como punto de referencia el perro y éste está caminando hacia el gato, la pelota se encontraría a la derecha, sin embargo, si se considera como origen al gato, que camina hacia el perro, la esférica se ubicaría a la izquierda.

De igual forma, cuando se habla de la derecha de un río, únicamente tiene sentido porque la corriente del agua determina la dirección, de forma análoga se puede decir que un auto se desplaza por su derecha porque en el movimiento del carro marca las orientaciones del camino. De tal forma que, hablar de derecha o izquierda solo adquiere sentido si se indica la dirección para la cual son definidas (Landau Y. , 1996).

Otro ejemplo, si se considera el movimiento de un carro que se desplaza por una autopista recta y horizontal como se muestra en la figura 8. Para definir la posición del auto, se usa la distancia desde algún objeto fijo en la carretera, en este caso se considerará un árbol, el cual es el punto de referencia, se puede decir que el carro está a 10 metros a la derecha del árbol o el auto está a 5 metros a la izquierda del árbol. Lo mencionado anteriormente puede ser reescrito al asignar números positivos a la distancia cuando el auto está a la derecha y números negativos a la distancia cuando está a la izquierda del árbol y decir el carro está en $x = +10$ metros o el auto está en $x = -5$ metros (Takeuchi, 2010).

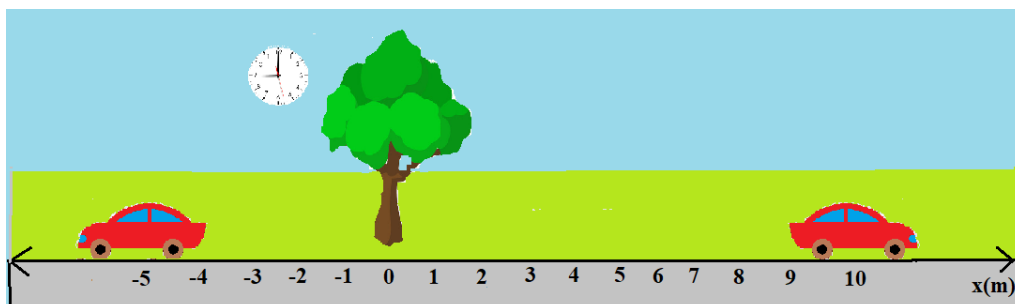


Figura 8: Posición de un auto, elaboración del autor.

Considerando un ejemplo adicional:

Al lanzar un proyectil verticalmente hacia arriba sobre una plataforma que se mueve en forma recta y uniforme, un observador que se encuentre en la plataforma en movimiento verá la trayectoria del proyectil como recta, figura 9. En cuanto a un observador que está parado en el suelo, donde la plataforma se mueve, visualizará la trayectoria del proyectil como parabólica, figura 10. Así, cada observador tendrá una visión diferente del movimiento. (Wolff & Mors, 2005, pág. 12)

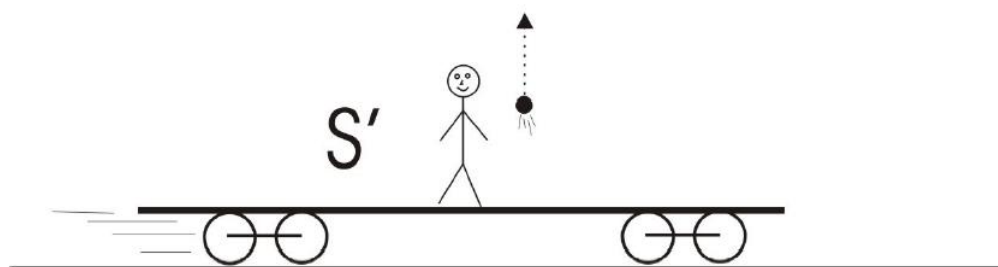


Figura 9: : Un observador que se encuentra en movimiento sobre una plataforma vera una trayectoria vertical para un proyectil, tomada de (Wolff & Mors, 2005, pág. 13).

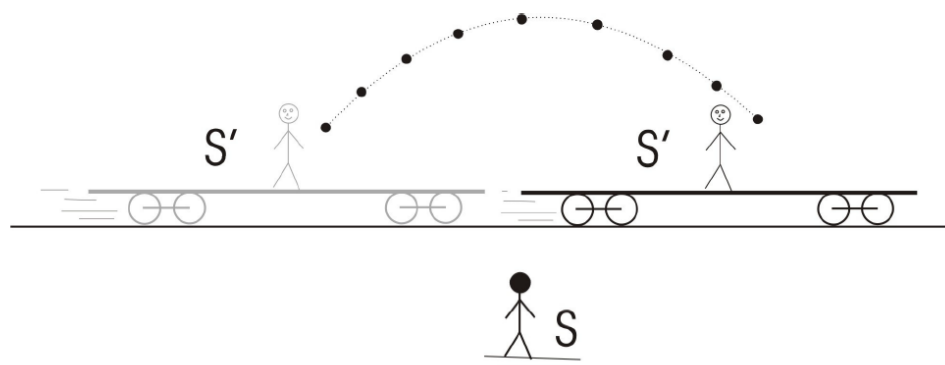


Figura 10: Un observador parado en un referencial terrestre vera una trayectoria parabólica para el proyectil, tomada de (Wolff & Mors, 2005, pág. 13)

Con ejemplos como los anteriores, Galileo Galilei demostró que la posición, la trayectoria y las velocidades dependen del origen desde el cual se observa el movimiento (Wolff & Mors, 2005).

Entonces, cuando se tiene un reloj para especificar la hora, el origen (punto de referencia o referencial) y las direcciones desde el origen configurado, se dice que se tiene un marco de referencia, sistema de referencia, o simplemente un marco. Un marco de referencia nos permite especificar cualquier punto en el espacio y el tiempo con un conjunto de números (Takeuchi, 2010). La relatividad de Galileo, “*se ocupa de la descripción de movimientos en relación con un marco de referencia inercial, es decir, un marco de referencia en reposo o en un movimiento recto y uniforme (no acelerado) en relación con otro marco de referencia*” (Wolff & Mors, 2005, pág. 13).

2.3.2.2. Transformaciones de Galileo. Considere dos marcos de referencia inerciales S y S', figura 11: el primero de ellos, S, formado por los ejes x, y y z, que se encuentra en reposo con respecto a la Tierra, y el segundo, S', formado por los ejes x', y' y z', paralelo a x, y y z, respectivamente, el cual se mueve con una velocidad constante $\vec{V}$ en la dirección del eje x en relación con el sistema S.

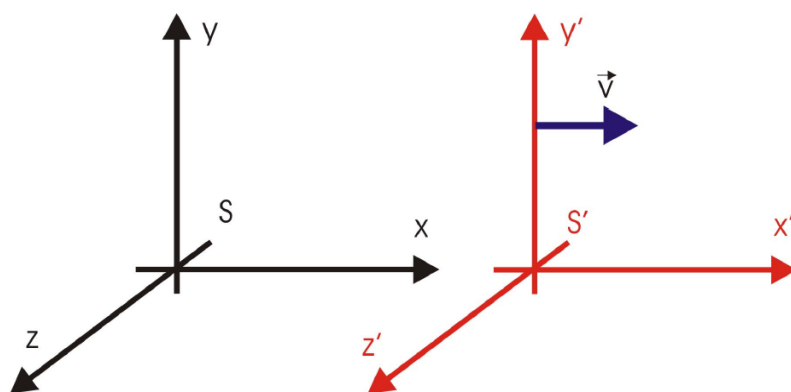


Figura 11: Sistemas de referencia inerciales S y S', tomada de (Wolff & Mors, 2005, pág. 14)

Si se considera que un evento (cualquier acontecimiento o hecho observable) ocurre en un punto P, el cual es identificado por un conjunto de coordenadas en cada sistema de referencia: para el sistema S (x, y, z, t) y en S' (x', y', z', t'), donde las tres primeras coordenadas de cada marco ubican el punto en el espacio y por su parte la cuarta coordenada indica el momento de ocurrencia del evento. Se supondrá que inicialmente los marcos de referencia inerciales S y S' coinciden en $t=t'=0$ segundos, figura 12, de lo cual se tendrá que $x_0 = x'_0, y = y'_0$ y $z = z'_0$.

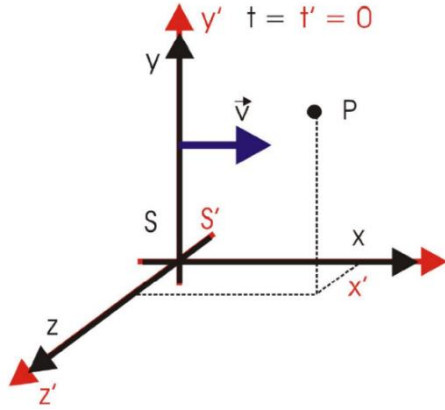


Figura 12: Posición de los marcos de referencia para $t=t'=0$ segundos, tomada de (Wolff & Mors, 2005, pág. 14)

Para un instante posterior donde $t = t'$ mayores que cero, se tendrá que el marco de referencia inercial S' habrá recorrido una distancia $\vec{V} \cdot t$, como se puede ver en la figura 13.

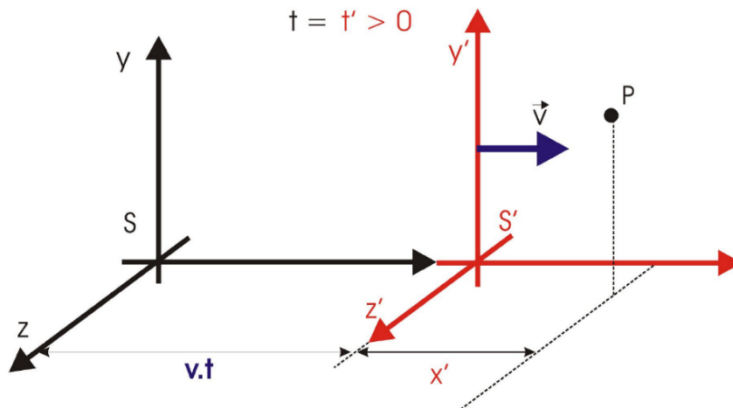


Figura 13: Movimiento de S' respecto a S para tiempos mayores a cero, tomada de (Wolff & Mors, 2005, pág. 15)

Como se desea comparar la descripción del movimiento del evento en el punto P, que se hacen desde los dos marcos de referencia inerciales. De la figura 13 se puede obtener que:

$$x = V \cdot t + x' \quad (1)$$

$$y = y' \quad (2)$$

$$z = z' \quad (3)$$

$$t = t' \quad (4)$$

Las ecuaciones anteriores se conocen como las transformaciones de Galileo, las cuales relacionan las observaciones entre marcos de referencias inerciales (*Takeuchi, 2010*).

En el caso general de que el sistema S' se mueva, pero no en la dirección de uno de los ejes del sistema S, las transformaciones de Galileo habría que escribirlas vectorialmente como:

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{V} \cdot t \quad (5)$$

Hay que tener en cuenta que se está tomando $t = t'$ (los relojes están sincronizados). Esto se debe a que para Galileo el tiempo es absoluto, independiente del marco de referencia, lo que llamamos invariancia temporal. Esto está de acuerdo con nuestro sentido común, de lo contrario tendríamos que sincronizar constantemente nuestros relojes. (Wolff & Mors, 2005, pág. 15)

Al hablar de relojes sincronizados se hace referencia a que los relojes comienzan a funcionar al mismo tiempo y marchan de igual forma (Garcia & Janenine, 2003).

Al ser invariante el tiempo en las transformaciones de Galileo trae como consecuencia la invariancia en la longitud, es decir, la longitud es absoluta, independientemente del sistema de referencia inercial desde el que es medida (Wolff & Mors, 2005).

Por otro lado, Galileo declaró que no es posible diferenciar por medios mecánicos si un cuerpo se encontraba en reposo respecto a otro o si se movía con movimiento rectilíneo y uniforme (Pérez & Solbes, 2003), de lo cual se puede concluir que “*las leyes de la mecánica son invariantes (no cambian) frente a una transformación de Galileo*” (Wolff & Mors, 2005, pág. 15).

Ejemplo: se tiene que una persona A se encuentra en un avión, el cual se mueve con velocidad constante y otra persona B está en una plataforma fija y en reposo con respecto a la Tierra. Si las dos personas lanzan una pelota verticalmente hacia arriba con la misma velocidad inicial, medirán la misma altura máxima alcanzada por la pelota, además, el mismo tiempo para alcanzarla, también observarán que la trayectoria descrita por el objeto es la misma, adicionalmente, tendrán la misma aceleración y fuerza resultante sobre el objeto. De acuerdo a lo anterior se puede concluir que los dos sistemas de referencia inerciales son equivalentes para la descripción de este movimiento, “*es decir, tanto la plataforma como el plano a velocidad constante son referencias equivalentes, por lo que es imposible distinguir una de la otra*” (Wolff & Mors, 2005, pág. 17).

Retomando las transformaciones de Galileo, se tendrá que para obtener una relación entre las velocidades de un evento en un punto P en relación con dos marcos inerciales, S y S', se debe derivar las transformaciones con respecto al tiempo. Entonces, derivando la ecuación 5 con respecto a t se tendrá que:

$$\frac{d\vec{r}'}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt} - \frac{d(\vec{V} \cdot t)}{dt}$$

La velocidad del evento en P respecto a S es definida como $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ y con respecto a S' como $\vec{v}' = \frac{d\vec{r}'}{dt}$, además, hay que recordar que $\vec{V}$ es constante, por lo cual $\frac{d(\vec{V} \cdot t)}{dt} = \vec{V} \cdot \frac{d(t)}{dt} = \vec{V}$, por lo tanto, se tendrá que reescribiendo lo anterior:

$$\vec{v}' = \vec{v} - \vec{V} \quad (6)$$

La igualdad anterior relaciona las velocidades con respecto a los dos sistemas de referencia inerciales, en el caso general. Para el caso particular que la velocidad $\vec{V}$ sea a lo largo del eje x, es decir $\vec{V} = V_x$, se tendrá que:

$$v'_x = v_x - V_x \quad (7)$$

$$v'_y = v_y \quad (8)$$

$$v'_z = v_z \quad (9)$$

Ejemplo: Se quiere utilizar las transformaciones de Galileo para hacer el cambio de las medidas de la velocidad tomadas desde un sistema de referencia inercial en un tren a otro sobre el andén, donde se encuentra una persona X que se encuentra quieta. Se supone que en el interior del tren viajan dos personas, una persona Z que no se mueve y una persona Y que camina dentro dentro del vagon del tren, si el tren avanza sobre las vías con dirección y velocidad constante de 700 kilómetros por hora (700 Km/h) y la persona Y se desplaza dentro del tren con una velocidad de 15 kilómetros por hora (15 Km/h) en la dirección del movimiento del mismo. ¿Cuál será la velocidad con la que se mueve la persona Y? En este caso se tendrá dos medidas, si el sistema de referencia inercial se ubica con respecto a la persona Z, la respuesta es 15 Km/h. Si el marco de referencia inercial se ubica en el anden, respecto a la persona X, la respuesta es 700 Km/h + 15 Km/h = 715 Km/h.

Si se repite la experiencia, pero en este caso la persona Y se desplaza a lo largo del vagón en la dirección contraria a la que el tren se mueve, la persona Z afirmará otra vez que se mueve a 15 Km/h, mientras que la medida dada por la persona X será que se mueve a $700\text{Km/h} - 15\text{Km/h} = 685\text{ Km/h}$. En los dos casos, para calcular la velocidad de la persona Y respecto a la persona X, se realizó las cuentas de acuerdo con las transformaciones de Galileo para las velocidades, $v = v' + V$ (en este ejemplo V es 700 y v' es +15 o -15, según en qué dirección camine la persona Y), que permite utilizar la velocidad del tren y la rapidez que obtuvo la persona Z midiendo desde dentro del vagón, para calcular la velocidad medida por la persona X desde del andén.

Como se pudo observar: la velocidad de un objeto depende del sistema de referencia inercial desde el que se realiza la observación. No obstante, teniendo en cuenta las transformaciones de Galileo, las velocidades que se observan desde diferentes marcos solo se diferencian por la velocidad relativa entre ellos. *“Esto implica que, si la velocidad del objeto cambia, ambos marcos estarán de acuerdo en cuánto ha cambiado”* (Takeuchi, 2010, pág. 56).

2.3.2.3. Isaac Newton y el movimiento relativo de los cuerpos. Newton escribo su mayor obra basado en los trabajos realizados por Galileo (en cinemática) y Keppler (movimiento de los planetas).

La esencia del trabajo de Newton radica en lo que ahora se conoce como las tres leyes de Newton: la ley de inercia, la cual establece un cuerpo que este en reposo o en movimiento recto y uniforme permanecerá en ese estado, siempre que sobre él no actúen fuerzas; la segunda, es el principio fundamental de la dinámica, que relaciona la fuerza neta sobre un cuerpo con su aceleración y la tercera es el principio de acción-reacción (Wolff & Mors, 2005).

Retomando las ecuaciones de la velocidad, ecuaciones 7, 8, y 9, y derivándolas en función del tiempo, teniendo en cuenta que la velocidad $\vec{V}$ entre los dos sistemas es constante, se obtiene que:

$$a'_x = a_x$$

$$a'_y = a_y$$

$$a'_z = a_z$$

Las ecuaciones anteriores son muy importantes para la segunda ley de Newton, ya que muestran que el cambio de velocidad no depende del marco de referencia inercial, todo cambio en la velocidad ocasionado por una aceleración, desaceleración o por un cambio en la dirección, tendrá un significado absoluto, esto según las transformaciones de Galileo, por lo cual, la segunda ley de Newton se aplicable a todos los sistemas de referencia inerciales (Takeuchi, 2010) y que no hay marco de referencia inercial privilegiado o preferible que otro, con base en lo anterior es posible enunciar que: *“las leyes de Newton son las mismas en cualquier marco de referencia inercial”* (Wolff & Mors, 2005, pág. 16).

2.3.2.4 La Luz y su naturaleza. La electricidad y el magnetismo fueron desarrollados por separado hasta siglo XIX, hasta que Oersted halló una relación entre ellos y en 1873 Maxwell los unificó con el electromagnetismo, el cual incluyó además a la óptica. En el momento en que surgió la teoría electromagnética, se presentaba un dominio de la mecánica newtoniana y se creía que ésta podía describir todos los fenómenos de la naturaleza (Wolff & Mors, 2005).

Maxwell en sus ecuaciones sintetizó el electromagnetismo, las cuales unificaron las leyes de Coulomb, Oersted, Ampere, Biot y Savart, Faraday y Lenz. Para Maxwell *“los campos eléctricos y magnéticos satisfacen una ecuación análoga a las ondas elásticas, teniendo la onda electromagnética la misma velocidad que la luz. Por tanto, se deduce que la naturaleza de la luz es electromagnética”* (Wolff & Mors, 2005, pág. 20), dicha hipótesis fue confirmada por H. Hertz.

En esos tiempos se pensaba que era muy poco lo que había por añadirles a la teoría del electromagnetismo y la mecánica newtoniana, pero se seguían presentando dificultades, la más destacable era el hecho de que si la luz era una onda, necesitaba de un medio para propagarse, como, por ejemplo, en el caso de las ondas sonoras son oscilaciones de las moléculas del aire, las ondas en un estanque son perturbaciones de las moléculas del agua, entonces ¿qué está vibrando en el caso de la luz?

Esta visión mecanicista dominó el pensamiento científico en ese momento. Entonces, se pensó que debe haber un medio con algunas propiedades especiales donde se propagan las ondas electromagnéticas. Para este medio, llamado éter luminífero o simplemente éter, era necesario postular propiedades algo inusuales, como densidad cero y transparencia perfecta. Este medio ya había sido ideado por René Descartes en el siglo XVI. (Wolff & Mors, 2005, pág. 21)

“La introducción de este concepto está ligado a la existencia de una concepción del espacio como recipiente de los fenómenos físicos e independiente de ellos” (Pérez H. , 2003, pág. 60).

Adicionalmente, la teoría de Galilei-Newton de la que se habló en secciones anteriores presenta *“un límite para su aplicabilidad y en ciertos casos no funciona. Y ese caso involucra la velocidad de la luz”* (Takeuchi, 2010, pág. 59), la cual es aproximadamente 300.000 kilómetros por segundo (Km/s) y se representa con la letra c .

Lo que los científicos en su momento estaban investigando era como la velocidad de la luz tenía una dependencia del movimiento del observador y de su fuente (Takeuchi, 2010). El éter era considerado un sistema de referencia absoluto, inmóvil con respecto al cual la luz se desplazaría a la velocidad c , lo que significaría que un sistema de referencia inercial en movimiento con respecto al éter, *“medirá una velocidad de la luz mayor o menor que c según la dirección de su movimiento, como ocurre con las demás ondas”* (Garcia & Janenine, 2003, pág. 25).

Hubo varios experimentos buscando probar la existencia del éter, el cual debería impregnar todo el universo, uno de los experimentos más confiable fue el llevado a cabo por Michelson y Morley.

2.3.2.5. El experimento de Michelson y Morley. Teniendo en cuenta que la población terrestre se encuentra sobre un sistema de referencia en movimiento, ya que, la tierra se mueve alrededor del sol con una velocidad v de 30 kilómetros por segundo (Km/seg) aproximadamente, de tal forma que, si se estudia la propagación de la luz sobre la tierra, se debe hacerlo en un sistema que se mueve a la rapidez antes mencionada.

Se tiene que el éter está en reposo y la luz se propaga a través de él, con una velocidad $c=300.000$ kilómetros por segundo (Km/s), por lo cual, la velocidad de la luz con respecto a la tierra debería estar comprendida entre $c - v$ y $c + v$ según la dirección de movimiento, siendo v la velocidad de la tierra respecto al éter, de forma similar a lo que sucede cuando un barco se desplaza en un río, éste se moverá con relación a tierra firme con mayor o menor rapidez dependiendo si sube o baja la corriente, para un observador en tierra firme, la velocidad del barco será menor si se transporta en contra del movimiento del agua, porque hay que restar la ligereza del agua a la del barco, mientras que si el barco se mueve en la dirección que fluye el río, las dos velocidades se adicionan (Hacyan, 2012).

Para medir la velocidad de la tierra con respecto al éter, en 1887 el físico Albert A. Michelson y el químico Edgard W. Morley realizaron el primer experimento confiable, ellos diseñaron un interferómetro, el cual se muestra en la figura 14, con su trabajo debían mostrar inicialmente la diferencia en las velocidades vistas desde la Tierra, de dos rayos de luz que se movían en direcciones diferentes (Landau Y. , 1996).

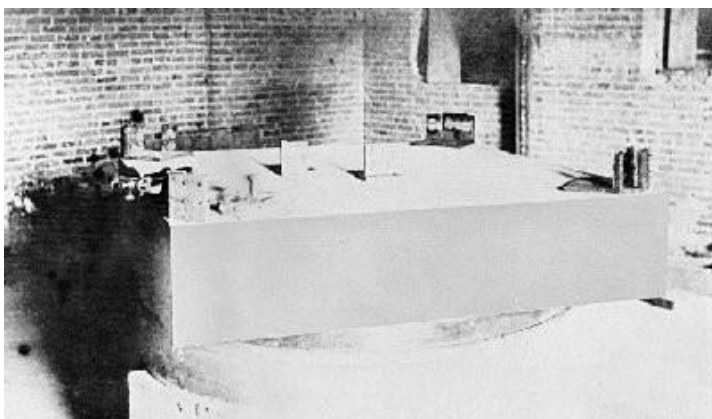


Figura 14: El interferómetro utilizado por Michelson y Morley,, tomada de (Hacyan, 2012)

El experimento consistía en que un haz de luz que parte de una fuente luminosa incide en un espejo semitransparente que lo divide en dos rayos que viajan de forma perpendicular entre sí, a su vez estos dos haces de luz inciden cada uno sobre un espejo, donde son reflejados hacia el espejo semitransparente, en este punto son nuevamente divididos y una parte es observada en un anteojo o detector, donde se mira si hay un patrón de interferencia, figura 15 (Garcia & Janenine, 2003).

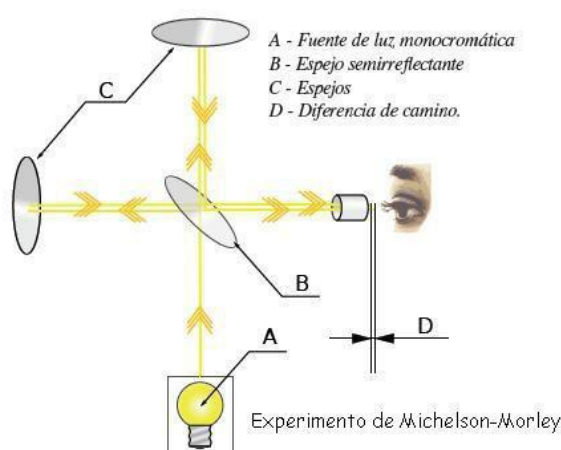


Figura 15: Esquema experimento de Michelson y Morley. tomada de (Gonzales, 2021)

La precisión del experimento era tan elevada, que se hubiera podido detectar diferencias muy pequeñas en la velocidad, la experiencia fue repetida varias veces durante el día, la noche,

en diferentes épocas del año y en todos los casos los resultados fueron negativos: no detectaron patrón de interferencia alguno, por lo cual, “*en vista de que no se pudo medir alguna propiedad física del éter surgió la posibilidad de que no existiera. De ser así desaparecía el marco de referencia con respecto al cual el valor de la luz es c* ” (Garcia & Janenine, 2003, pág. 30).

Del experimento concluyeron que:

1. la velocidad de la tierra con respecto al éter es $v = 0$, o sea que se puede interpretar este hecho como la no existencia del éter, es decir, no existe un sistema de referencia en reposo con respecto al cual todos los demás están en movimiento relativo.
2. La medida de la velocidad de la luz en el vacío es la misma para todas las direcciones en cualquier sistema inercial e independiente del movimiento de la fuente y del observador. (Valero, 1977, pág. 244)

Con lo anterior se pudo verificar que se presentaban inconsistencias en las transformaciones de Galileo al aplicarlas a eventos electromagnéticos. Por lo tanto, las ecuaciones de Maxwell estaban equivocadas o se presentaban inconsistencias en las transformaciones de Galileo (Wolff & Mors, 2005).

Albert Einstein en 1905 enuncia la Teoría Especial de la Relatividad que era una nueva teoría que daba solución al problema del éter y a las inconsistencias planteadas anteriormente.

2.3.2.6. Postulados de la Teoría Especial de la Relatividad. En 1905, el físico alemán Albert Einstein, publicó un artículo titulado sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento, el cual sienta las bases de su Teoría Especial de la Relatividad (TER) (Pérez H. , 2003). La TER se fundamenta en dos postulados, que son los siguientes:

1. Las leyes de la física son las mismas en cualquier marco de referencia inercial, es decir, no existe un marco inercial preferencial.
2. La luz siempre se propaga en el espacio vacío con una velocidad definida, cuya magnitud es independiente del estado de movimiento del cuerpo emisor. (Wolff & Mors, 2005, pág. 22)

Los postulados de Einstein son más generales que el principio de relatividad de Galileo y Newton porque abarcan toda la física.

El primer postulado generaliza el principio de relatividad de Galilei-Newton e “*implica que el movimiento en línea recta y a velocidad constante sólo es observable si se compara con algo; en otras palabras, no existe un marco de referencia absoluto con respecto al cual se*

pueden comparar todos los movimientos” (Garcia & Janenine, 2003, pág. 31). Por lo tanto, todo evento físico puede ser descrito desde cualquier sistema de referencia inercial. *“Esta generalización de varias leyes solo fue posible gracias a la modificación de los conceptos de espacio y tiempo”* (Wolff & Mors, 2005, pág. 23).

El segundo postulado contradice las transformaciones de Galileo, al considerar que la velocidad de la luz es la misma para cualquier sistema de referencia inercial, lo cual provocó serios cambios en los conceptos de tiempo y espacio aceptados hasta ese momento, adicionalmente trajo consecuencias, tal como, que ningún cuerpo puede viajar a una velocidad mayor que la de la luz (Wolff & Mors, 2005).

2.3.2.7. La simultaneidad es relativa. Teniendo en cuenta que, debido a los postulados de relatividad especial, el tiempo ya no es absoluto, *“dos eventos simultáneos en un marco de referencia inercial pueden no serlo en otro y viceversa”* (Garcia & Janenine, 2003, pág. 37). *“Por tanto, la noción de simultaneidad también es relativa”* (Wolff & Mors, 2005, pág. 25).

Ejemplo, al imaginar el tren de Einstein (experimento mental) que viaja con una velocidad relativista constante V (velocidad cercana a la de la luz), en el cual hay un observador S' que está en la mitad del tren, y otro observador S que está quieto en el suelo, los cuales se cruzan exactamente cuando ocurren dos rayos, figura 16. Al suponer que dos rayos alcanzan las posiciones delantera y trasera del tren al mismo tiempo, desde el punto de vista de S , es decir, los eventos serán simultáneos para dicho observador. por su parte para S' que se encuentra en el marco de referencia dentro del tren, los eventos no serán simultáneos, porque primero verá el rayo en el frente del tren, ya que el tren se mueve en esa dirección, y posteriormente verá el frente de onda en la parte de atrás, lo anterior está de acuerdo con el principio de la invariancia de la velocidad de la luz, por lo tanto: desde cualquier sistema de referencia inercial, los dos rayos se mueven con la velocidad c , de lo cual S' concluye *“que el rayo producido delante del tren fue emitido antes que el otro, es decir, para este observador los rayos no son simultáneos”* (Wolff & Mors, 2005, pág. 25)

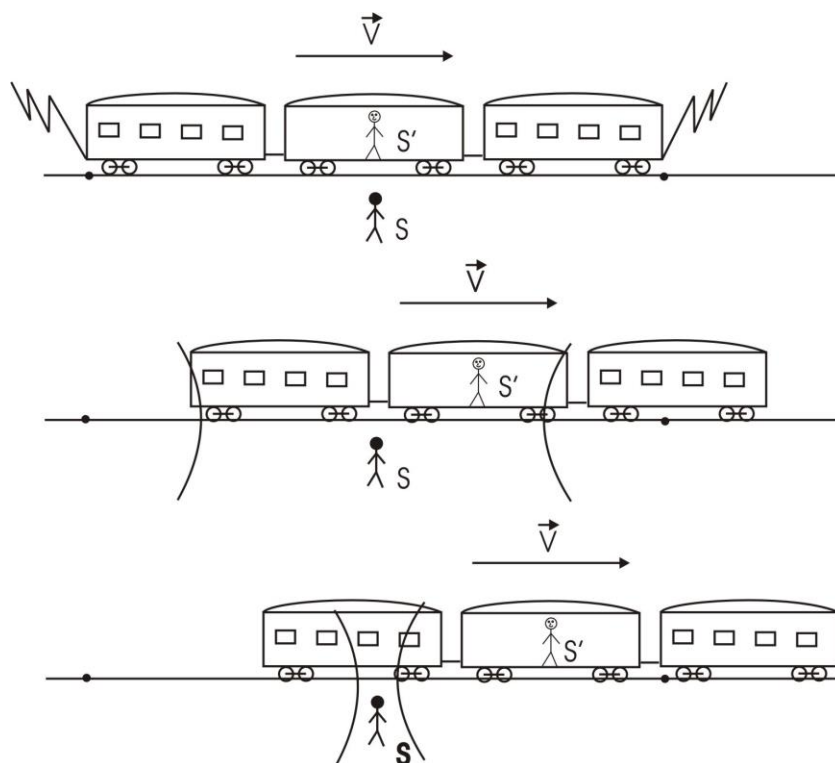


Figura 16: El tren de Einstein alcanzado por dos rayos, tomado de (Wolff & Mors, 2005, pág. 26)

Es decir, eventos que son simultáneos para el observador en el suelo no lo son para la persona que se encuentran en el tren.

Pero, ¿quién tiene razón, el pasajero del tren o la persona que se encuentra quieta sobre el suelo? La respuesta es ambos son correctos; “*por extraño que parezca, no hay una respuesta única a esta pregunta. La simultaneidad es una noción relativa más que absoluta*” (Wolff & Mors, 2005, pág. 25). Por lo tanto “*la simultaneidad de eventos también es relativa al marco de referencia inercial escogido*” (Garcia & Janenine, 2003, pág. 39).

Si la velocidad de la luz fuera infinita en cualquier marco de referencia, los dos eventos serían simultáneos para los dos observadores. Pero dado que la velocidad de la luz es igual en todas las direcciones en cualquier marco inercial, los dos eventos que son simultáneos en un marco de referencia no serán necesariamente simultáneos en otro marco. (Wolff & Mors, 2005, pág. 26)

2.3.2.8. Tiempo, longitud y velocidad en la Teoría Especial de la Relatividad.

2.3.2.8.1. *Dilatación del tiempo.* Al tener que la luz es la misma en todas direcciones ocasiona que las medidas del tiempo ya no sean absolutas, contrario a lo que pensaban Galileo y

Newton, es decir, “*las medidas de tiempo dependerán del marco inercial en el que se mida el tiempo*” (Wolff & Mors, 2005, pág. 27).

La práctica diaria indica que los relojes funcionan de la misma forma, sin importar cómo se mueven. ¿No es entonces absurdo pretender que el tiempo medido es relativo al observador? Es importante señalar que el efecto predicho por Einstein sólo es perceptible a velocidades cercanas a la de la luz (Hacyan, 2012).

Considere la siguiente situación, suponiendo que un tren viaja a una velocidad v constante cercana a la de la luz en relación al suelo, un pasajero quieto dentro del tren, observador O' , hace que se emita una señal de luz vertical desde un foco fijo en el piso del tren hacia el techo del mismo, donde se encuentra un espejo que reflejara el rayo de luz nuevamente hacia la fuente. Para el marco O' , la luz recorrerá una trayectoria como la que se muestra en la figura 17.

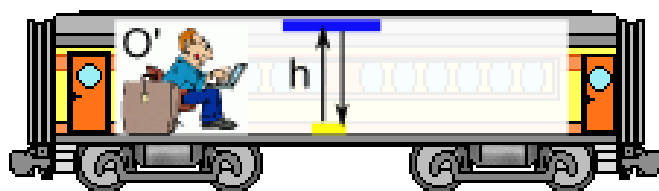


Figura 17: Trayectoria de la luz vista por el pasajero del tren, tomada de (Lanzas & Cobos, 2004)

Por lo tanto, la distancia recorrida por la luz para el observador dentro del tren será:

$$2h = c \cdot \Delta t' \quad (10)$$

En la ecuación anterior h es la altura del vagón, $\Delta t'$ es el tiempo que tarda la luz en ir desde el suelo hasta el techo y regresar a la fuente en línea recta, desde el punto de vista de O' y c es la velocidad de la luz.

Por su parte, para una persona quieta y situada fuera del tren, observador O , la trayectoria del rayo de luz es diferente, ya que éste seguirá una trayectoria diagonal, debido al movimiento del tren, de igual forma sucede cuando se refleja el espejo y retorna a la fuente (figura 18).

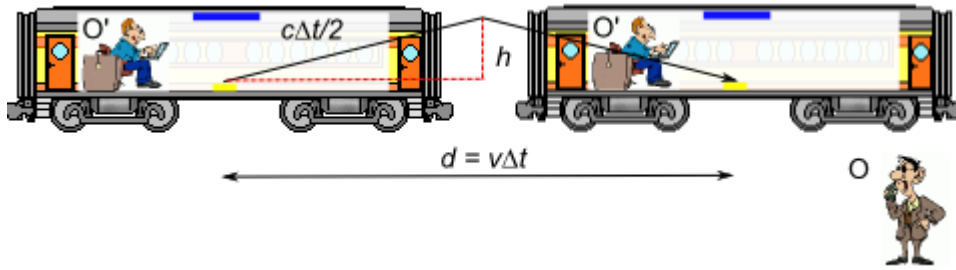


Figura 18: Trayectoria de la luz para la persona fuera del tren, tomada de (Lanzas & Cobos, 2004).

Es decir, para el observador O la luz recorre una mayor distancia que para el O'.

En el marco de O la luz recorre una distancia:

$$L = c \cdot \Delta t \quad (11)$$

Donde L será la distancia recorrida por el rayo de luz vista por el observador O, Δt será el tiempo que emplea la luz en ir hasta el espejo y regresar al foco, medido por la persona fuera del tren y c es la velocidad de la luz.

Al tomar la trayectoria que sigue la luz vista desde el marco O, se observa que se forma un triángulo isósceles (que tiene dos lados iguales), al tomar la mitad de la misma, se observa un triángulo rectángulo, como se puede apreciar en la figura 19.

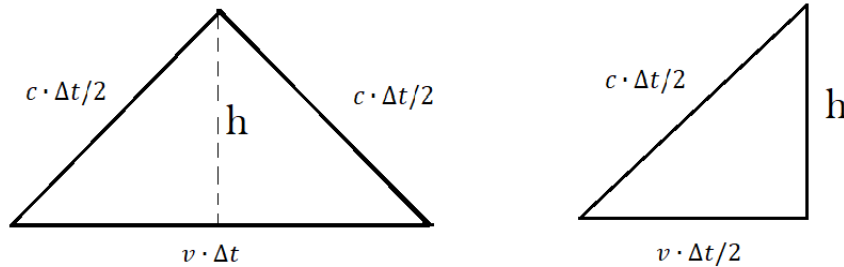


Figura 19: Trayectoria de la luz para el observador fuera del tren, elaboración del autor.

Al aplicar el teorema de Pitágoras al triángulo rectángulo que se forma en la mitad de la trayectoria de la luz vista desde el marco O, se obtiene que:

$$(c \cdot \Delta t/2)^2 = (h)^2 + (v \cdot \Delta t/2)^2$$

Al despejar h de la ecuación 10 se tiene que $h = c \cdot \Delta t'/2$, ahora se reemplaza h en la expresión anterior, de modo que:

$$(c \cdot \Delta t/2)^2 = (c \cdot \Delta t'/2)^2 + (v \cdot \Delta t/2)^2$$

Cancelando el número 2 que se encuentra dividiendo en todos los términos de la igualdad y resolviendo los cuadrados, se tendrá que:

$$c^2 \cdot \Delta t^2 = c^2 \cdot \Delta t'^2 + v^2 \cdot \Delta t^2;$$

Agrupando los términos con Δt^2 , se obtiene lo siguiente:

$$(c^2 - v^2) \cdot \Delta t^2 = c^2 \cdot \Delta t'^2;$$

Ahora despejando Δt^2 .

$$\Delta t^2 = \frac{c^2 \cdot \Delta t'^2}{c^2 - v^2};$$

Dividiendo arriba y abajo en la parte derecha de la igualdad entre c^2 y simplificando, se obtendrá que:

$$\Delta t^2 = \frac{\Delta t'^2}{1 - v^2/c^2}$$

Por último, determinando la raíz cuadrada a los dos lados de la igualdad.

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Rescribiendo la expresión anterior se tiene que:

$$\Delta t = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \cdot \Delta t' \quad (12)$$

Usualmente la ecuación anterior se escribe como:

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t' \quad (13)$$

Donde γ se conoce como el factor de Lorentz.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (14)$$

Hay que tener en cuenta que solo $v < c$ permite un valor real de γ (Wolff & Mors, 2005).

Si v es muy pequeño en comparación a c (caso clásico), el efecto de dilatación del tiempo tiende a desaparecer, ya que v/c tiende a cero (Garcia & Janenine, 2003).

Como el factor γ es siempre mayor que uno, se tendrá que $\Delta t > \Delta t'$, así que:

Quien esté fuera del tren medirá un intervalo de tiempo mayor que el observador que esté dentro del tren. Este fenómeno se conoce como dilatación temporal. El intervalo de

tiempo para aquellos que miden dentro del tren se llama tiempo propio ($\Delta t'$), y el intervalo de tiempo para aquellos que están en el marco de referencia fuera del tren se llama tiempo dilatado (Δt). (Wolff & Mors, 2005, pág. 29)

Es importante tener en cuenta que no se nota la dilatación del tiempo en la vida cotidiana, porque las velocidades que se observan son mucho menores que la velocidad de la luz, con lo cual se ocasiona que el factor de Lorentz tienda a ser igual a uno (Wolff & Mors, 2005).

Por ejemplo, si se considera que el tren se mueve a 240.000 Km/s y que para el sistema de referencia inercial dentro del vagón la luz se demora 6 segundos en ir desde la fuente al espejo y regresar, al usar la ecuación 12 se tendrá que para el sistema de referencia inercial fuera del ferrocarril el tiempo será:

$$\Delta t = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(240000 \frac{km}{h})^2}{(300000 \frac{km}{s})^2}}} \cdot 6 s = 10 s$$

De donde se obtienen que el tiempo para el marco de referencia inercial fuera del tren el tiempo $\Delta t = 10 s$, es decir el evento tendrá una duración de 4 segundos más en comparación al intervalo de tiempo medido en el marco de referencia inercial dentro del tren.

Hay que tener en cuenta que entre más cercana sea v a la velocidad de la luz mayor será la variación en el tiempo, así, por ejemplo, si la velocidad del tren es 0.9999 c , una hora para el marco fuera del tren, será solamente un minuto para el sistema de referencia inercial dentro del tren (Landau Y. , 1996).

2.3.2.8.1.1. La paradoja de los gemelos. Este ejemplo permite ilustrar el fenómeno de dilatación del tiempo.

Esta paradoja se plantea como un experimento mental, que supone que dos gemelos sincronizan sus relojes y uno de ellos emprende un largo viaje espacial. A su regreso los hermanos comparan sus relojes y se darán cuenta de que el gemelo que ha permanecido en la tierra es un poco más viejo, tal como se observa en la figura 20, llegando a presentarse el caso que el hermano en tierra sea un anciano, que haya fallecido e incluso que el astronauta llegue a encontrarse con los nietos de los nietos de su gemelo, esto dependiendo de la velocidad a la que viaje la nave.

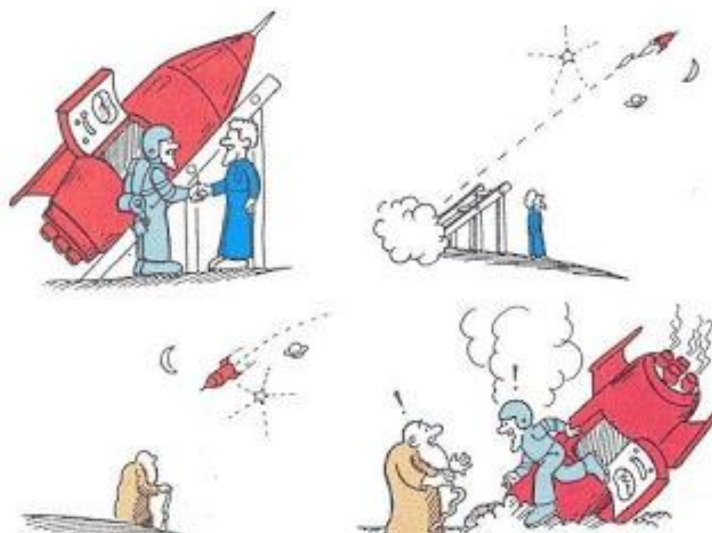


Figura 20: Paradoja de los gemelos, tomada de (Rodríguez, 2017).

Si se considera que la nave viaja a un 50% de la velocidad de la luz, se puede determinar que: si $\Delta t = 1$ año (tiempo propio) tiempo que transcurre en la nave, al usar la ecuación 12, se puede determinar el tiempo transcurrido en la tierra Δt (tiempo dilatado).

Remplazando los valores de $v = 0,5 \cdot c$ (50% de la velocidad de la luz) y $\Delta t = 1$ año, en la ecuación 12,

$$\Delta t' = \frac{1 \text{ año}}{\sqrt{1 - \frac{(0,5 \cdot c)^2}{c^2}}} \approx 1,15 \text{ años}$$

Por lo tanto, 1 año transcurrido en la nave espacial que viaja a una velocidad del 50% de c equivalente a 1,15 años transcurridos en la tierra.

Si el astronauta viaja a un 87% de c , cuando transcurre 1 año en la nave, $\Delta t = 1$ año, en la tierra transcurrirán:

$$\Delta t' = \frac{1 \text{ año}}{\sqrt{1 - \frac{(0,87 \cdot c)^2}{c^2}}} \approx 2 \text{ años}$$

De lo cual, 1 año en la nave viajando a 87% de c equivaldría a 2 años en la superficie terrestre.

Por su parte, si la nave alcanzara a desarrollar un 99,99% de c , 1 año para el gemelo en ella, en la tierra equivaldría a:

$$\Delta t' = \frac{1 \text{ año}}{\sqrt{1 - \frac{(0,999 \cdot c)^2}{c^2}}} \approx 71 \text{ años}$$

Si la nave viaja a un 99.99% de la velocidad de la luz un año en ella equivale a 71 en la tierra, con lo cual en el instante en el que los hermanos se encuentren, el que habita la tierra sería un anciano en relación a su gemelo astronauta.

Además, si la nave es capaz de desarrollar un 99,999% de la velocidad de la luz, 1 año transcurrido para el astronauta sería equivalente a:

$$\Delta t' = \frac{1 \text{ año}}{\sqrt{1 - \frac{(0,9999 \cdot c)^2}{c^2}}} \approx 224 \text{ años}$$

Si la nave logra alcanzar una velocidad de 99.999% de c, 1 año en la nave sería equivalente a 224 años en la tierra, con lo cual al regresar el viajero podría saludar a los nietos de su hermano muerto.

En el ejemplo anterior, se podría presentar la inquietud de que si se considera como marco de referencia a la nave espacial, el que se movería sería el gemelo que se encuentra en la tierra y por ende el tiempo dilatado sería el medido por éste, entonces, ¿quién será mayor al final del viaje? parece presentarse una paradoja con esta situación, para dar solución a este interrogante es necesario tener en cuenta que el habitante de la tierra se puede considerar como marco de referencial inercial, mientras que el astronauta no es un sistema de referencia inercial, ya que para alcanzar una velocidad cercana a c y cambiar de dirección, el cohete sufre aceleraciones, por lo cual no se presenta ninguna paradoja, porque no se está comparando observaciones de dos marcos de referencia inerciales. Por lo tanto, el problema no es simétrico. Entonces cuando se reencuentren los gemelos no tendrán la misma edad, debido a que uno de ellos estuvo en un marco de referencia inercial, mientras que el otro sufría aceleraciones (Wolff & Mors, 2005).

Con el ejercicio mental anterior, se podría pensar en prolongar la vida humana, así sea desde el punto de vista de otra persona, ya que un individuo envejece de acuerdo a su propio tiempo. Pero al examinar de una forma más rigurosa se prueba que los resultados no son tan prometedores, comenzando porque el organismo humano no está adaptado para tolerar por largos periodos de tiempo aceleraciones que sean mayores a la de la gravedad y al partir desde el reposo para alcanzar la velocidad de la luz con una aceleración igual a la de la gravedad, requeriría un tiempo muy largo. Además, el consumo de energía no es consolador, para que una nave de una tonelada viaje a una velocidad de 260.000 Km/s se necesitaría de una energía de 250 billones de

kilovatios-hora, la cual es la cantidad de energía que se consume en toda la tierra durante varios meses y no se ha tenido en cuenta la energía necesaria para que la nave llegue a dicha rapidez, ni la energía que se necesita para desacelerar el cohete en el momento del aterrizaje (Landau Y. , 1996).

2.3.2.8.2. *Contracción de la longitud.* Otra consecuencia de los postulados de la relatividad especial o restringida es la llamada contracción de la longitud (Garcia & Janenine, 2003). “Al igual que el tiempo, la longitud tendrá valores diferentes para los observadores que se encuentren en movimiento relativo entre sí. La contracción de la longitud siempre ocurre en la misma dirección de movimiento” (Wolff & Mors, 2005, pág. 33).

Por ejemplo, un tren que se mueve con una velocidad constante v cercana a la velocidad de la luz en relación al andén de la estación, y se tiene dos observadores: uno dentro del tren (S') y otro en el andén (S) que se encuentra quieto. El observador en S al medir la longitud de la plataforma de la estación encuentra el valor L , a esta se le llama longitud propia, que es la mide en el marco que está en reposo, hay que tener en cuenta que el tren viaja en la dirección de la longitud medida, este observador ve que la parte delantera del tren pasa la plataforma en un tiempo Δt , como el tren se mueve a una velocidad v , se tiene que para este observador $L = v \cdot \Delta t$. Por su parte, para el observador en S' , la plataforma es la que se mueve, para él la longitud de ésta es L' , y el frente del tren se demoró $\Delta t'$ en pasarla, donde $\Delta t'$ es el tiempo propio, como la velocidad del tren es v , se tendrá que $L' = v \cdot \Delta t'$ (Wolff & Mors, 2005).

Entonces como: $L = v \cdot \Delta t$ y $L' = v \cdot \Delta t'$, despejando v de estas expresiones, se tiene que:

$$v = \frac{L}{\Delta t}$$

Y

$$v = \frac{L'}{\Delta t'}$$

Como $v = v$, entonces:

$$\frac{L}{\Delta t} = \frac{L'}{\Delta t'}$$

De la expresión anterior despejando L , se obtiene que:

$$L = \frac{\Delta t}{\Delta t'} \cdot L' \quad (15)$$

Puesto que de la ecuación 13, se tiene que $\frac{\Delta t}{\Delta t'} = \gamma$, la expresión anterior puede ser reescrita como:

$$L = \gamma \cdot L' \quad (16)$$

“En la ecuación anterior la longitud propia es L . Dado que $\gamma > 1$, $L' < L$, es decir, la longitud de la plataforma, medida en un marco contra el que se mueve, es siempre menor que su longitud propia” (Wolff & Mors, 2005, pág. 33). Es de tener en cuenta que “la contracción tiene lugar sólo en la dirección del movimiento” (Garcia & Janenine, 2003, pág. 35). Lo descrito anteriormente se conoce como la contracción de Lorentz.

Es de resaltar que de forma similar a lo que sucede el caso de la medición de tiempos, al momento de medir longitudes se debe tener en cuenta el segundo postulado de la Teoría Especial de la Relatividad; para los ejemplos se consideró que la velocidad v es comparable a la velocidad de la luz, pero siempre menor, en el caso que la velocidad v sea mucho menor a c , no es posible detectar una contracción de la longitud (Garcia & Janenine, 2003).

Ejemplo: Una nave espacial se mueve a una velocidad del 75% de la velocidad de la luz ($0.75 \cdot c$), y un astronauta en el interior mide su longitud y encuentra un valor de 12 m. Para un observador en la Tierra, ¿qué tamaño tiene la nave?

Para solucionar este ejercicio se tiene que la velocidad de la Tierra en relación con la nave espacial es v e igual a $0.75 \cdot c$ y que en este caso la longitud propia es $L' = 12$ m. Por lo tanto, de la ecuación 16 y teniendo en cuenta que γ está dado en la ecuación 14, se tiene que:

$$L' = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \cdot L$$

De donde L es:

$$L = \sqrt{1 - v^2/c^2} \cdot L'$$

Remplazando los valores de v y L' , se obtiene que:

$$L = \sqrt{1 - \frac{(0.75 \cdot c)^2}{c^2}} \cdot 12 \text{ m}$$

Realizando los cálculos:

$$L = 7,94 \text{ m}$$

Se puede observar que se presenta una reducción en la medida de la longitud, donde el valor medido desde el sistema de referencia inercial en tierra se redujo al 66% de la longitud propia.

Ejemplo: si un observador O' ve una pelota con velocidad v , tal que $v = 0$ observara la esfera de tamaño normal, si la bola se mueve horizontalmente tal que $v = 0,87 \cdot c$, el diámetro de la pelota se contrae a la mitad; si $v = 0,97 \cdot c$ el tamaño de la pelota se contrae a la cuarta parte y si su velocidad llegara a ser igual a c , su longitud sería cero, ésta es una de las razones por las que se afirma que c es el límite superior de la rapidez de un objeto, lo mencionado anteriormente se muestra en la figura 21.

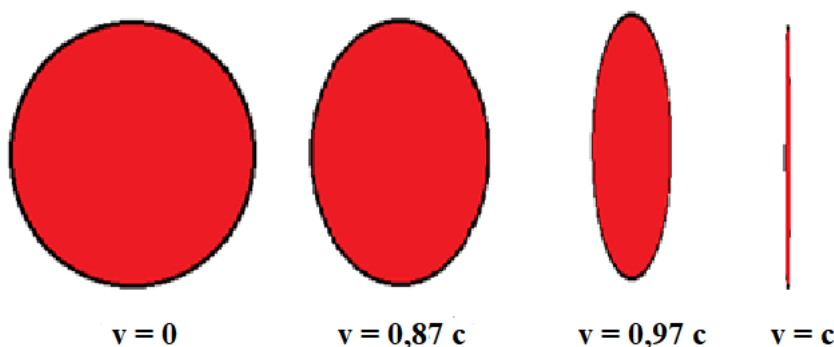


Figura 21: Contracción de la longitud con el cambio de la velocidad, elaboración del autor.

Como se pudo observar las medidas de la longitud son afectadas por el movimiento relativo de los cuerpos, esto debido al segundo postulado de la Teoría Especial de la Relatividad.

Entonces, la pregunta sigue siendo: ¿qué le sucede a un objeto que está en movimiento en relación con un marco inercial? ¿Hay una contracción en el material, donde las moléculas se ven afectadas por el movimiento, acercándose unas a otras, es decir, hay un cambio en la estructura del material? ¿O es solo la apariencia visual del objeto en movimiento relativo? (Wolff & Mors, 2005, pág. 34)

Antes de Einstein, varios físicos habían propuesto la contracción de la longitud en la dirección del desplazamiento, el cual tenía un significado diferente, para ellos la contracción en la longitud era debida a la modificación de la estructura de la materia. Con la TER de Einstein, la contracción cambiaria de significado, está ya no afectaría la estructura de la materia, sino que es

debida a la apariencia visual de los objetos en movimiento relativo, es decir, se relaciona con el acto de medir, cambio en las medidas de longitud, debido a que la luz tiene una velocidad constante en todas las direcciones (Wolff & Mors, 2005).

2.3.2.8.3. *Adición de velocidades en la TER.* Como ya se mencionó en la TER, las medidas de tiempo y longitud cambian de un sistema de referencia inercial a otro, con lo cual se dejó de lado la relatividad galileana. Por lo tanto, la suma de velocidades también debe ser modificada, “*porque ningún cuerpo puede tener una velocidad mayor que la de la luz en relación con un sistema de referencia inercial*” (Wolff & Mors, 2005, pág. 37).

Para velocidades cercanas a la de la luz (velocidades relativistas) no se puede usar la suma de velocidades descrita por Galileo en la ecuación 6, ya que, la velocidad de la luz es constante en todas las direcciones e igual a c (Wolff & Mors, 2005).

Y al considerar considera el siguiente ejemplo, en el cual una fuente se mueve con una velocidad de $0.5c$ con respecto a un sistema de referencia en reposo en el suelo, y ésta emite un pulso de luz a una velocidad c ; usando la suma de velocidades de Galileo, ecuación 6, se determinará que el pulso de luz se moverá con una velocidad de $1.5c$ en relación al marco de referencia inercial, lo cual contradice el segundo postulado de la relatividad, ya que se obtendría una velocidad mayor a c .

Por lo tanto, para sumar velocidades relativistas, no se usa la suma de velocidades de Galileo, sino que se usara otra relación, que se conoce como la suma de velocidades relativistas y es la siguiente (Wolff & Mors, 2005):

$$v = \frac{V+v'}{1+\frac{V \cdot v'}{c^2}}$$

Despejando se tendrá que:

$$v' = \frac{V-v}{1-\frac{V \cdot v}{c^2}} \quad (17)$$

Con las ecuaciones anteriores se respeta el segundo postulado de la relatividad especial, además, si V , v y v' son pequeñas en comparación a c , las ecuaciones anteriores se reducen a la suma de velocidades de Galileo.

Ejemplo: se tienen dos naves, A y B, las cuales viajan en direcciones contrarias a velocidades de $0.6c$ y $0.8c$ respectivamente, medidas con respecto a un marco de referencia

inercial ubicado en la tierra. Determinar la velocidad relativa de una nave en relación con la otra (Wolff & Mors, 2005).

Para solucionar este ejercicio se considera que S es el marco de referencia inercial de la tierra y S' el sistema de referencia inercial unido a la nave A, además que la nave B es el objeto observado, por lo tanto, $V = 0,6 \cdot c$ (velocidad de A con respecto a la tierra) y $v = -0,8 \cdot c$ (velocidad de la nave B con respecto a la tierra) el signo negativo de v es debido a que las naves viajan en direcciones contrarias. De lo cual se debe determinar v' , que es la velocidad de la nave B con respecto a la nave A, reemplazando los valores conocidos en la ecuación 17 se tendrá que:

$$v' = \frac{0,6 \cdot c - (-0,8 \cdot c)}{1 - \frac{0,6 \cdot c \cdot (-0,8 \cdot c)}{c^2}} = \frac{0,6 \cdot c + 0,8 \cdot c}{1 + \frac{0,48 \cdot c^2}{c^2}} = \frac{1,4 \cdot c}{1,48}$$

De donde

$$v' = 0,95 \cdot c$$

La velocidad de la nave B respecto a la nave A es de $0,95 \cdot c$.

2.3.2.9. Masa, momento y energía.

La masa en reposo de una partícula permanece constante en cualquier sistema de referencia, pero el valor de la energía depende del sistema elegido. Por tanto, si la relación entre la masa y la energía es cierta en un sistema de referencia, no se puede cumplir en otros. El sistema de referencia en el que se verifica dicha relación es, precisamente, aquel en el que la partícula se encuentra en reposo. (Pérez H. , 2003, pág. 22)

“La teoría de la relatividad especial modifica y generaliza la mecánica newtoniana a velocidades cercanas a la velocidad de luz, $v \sim c$ ” (Janssen, 2012, pág. 3). Es decir, la velocidad máxima que puede adquirir un cuerpo es la velocidad de la luz, sin importar el sistema referencia inercial desde el cual se haga la observación. “Una consecuencia directa de esta última afirmación es que la formulación $F = m \cdot a$ no puede ser cierta” (Janssen, 2012, pág. 3), ya que dicha fórmula daría a entender que si se aplica una fuerza constante, se podría acelerar una masa indefinidamente, hasta alcanzar velocidades que incluso sean mayores a la velocidad de la luz.

La formulación correcta de la segunda ley de Newton es:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \tag{18}$$

La gran diferencia de la ecuación 18 con la definición newtoniana de fuerza radica en el momento ($\vec{p}$), el momento relativista esta definido como:

$$\vec{p} = \gamma \cdot m \cdot \vec{v} \quad (19)$$

Donde m es la masa del objeto, medida en el sistema que está en reposo con respecto al objeto, $\vec{v}$ es la velocidad relativa entre el objeto y el observador y γ es el factor de lorenz, que esta dado por la ecuación 14, por lo tanto:

$$\vec{p} = \frac{m \cdot \vec{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad (20)$$

Observando la igualdad anterior se puede ver que para velocidades pequeñas el denominador tiende a ser 1 y con ello se retomaría la definición de momento newtoniana $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$, pero si la velocidad es cercana a la velocidad de la luz, el denominador ocasiona que el momento relativista de un objeto que se mueve sea mucho mayor (Janssen, 2012).

Al analizar las ecuaciones 18 y 20 implican que ningún objeto puede alcanzar, ni sobrepasar la velocidad de la luz: al aplicar una fuerza $\vec{F}$ sobre un objeto resulta en un cambio del momento relativista $\vec{p}$ (más que en un cambio de la velocidad $\vec{v}$). Dado que la mayor contribución al momento relativista de un objeto que se mueve con velocidades cercanas a c viene del denominador de la ecuación 20, cualquier fuerza finita aumentara sobre todo el factor $\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$, mas que el factor $m \cdot \vec{v}$. (Janssen, 2012, pág. 3)

Adicionalmente Einstein propuso que la energía de un cuerpo libre viene dada por (Solbes, Botella, Pérez, & Tarín, 2002):

$$E = \gamma \cdot m \cdot c^2$$

Al remplazar en la ecuación anterior el factor de Lorentz dado en la ecuación 14, se tiene que:

$$E = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad (21)$$

La expresión anterior “denota la existencia de energía incluso para velocidades nulas; una partícula de masa m , en tal caso tiene una energía $E_0 = m \cdot c^2$ denominada, energía en reposo” (Solbes et al., 2002, pág. 3).

Por otra parte, se tiene que, si se reescribe la ecuación 20, multiplicando por c y elevando al cuadrado a los dos lados de la expresión, se obtiene que:

$$c^2 \cdot p^2 = \frac{m^2 \cdot v^2 \cdot c^2}{1 - v^2/c^2} \quad (22)$$

En el caso de la ecuación 21, elevando al cuadrado la expresión se tiene que:

$$E^2 = \frac{m^2 \cdot c^4}{1 - v^2/c^2} \quad (23)$$

Restando la ecuación 22 de la ecuación 23, se tendrá que:

$$E^2 - c^2 \cdot p^2 = \frac{m^2 \cdot c^4}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{m^2 \cdot v^2 \cdot c^2}{1 - v^2/c^2}$$

Factorizando $m^2 \cdot c^4$ en la parte derecha de la igualdad, se obtiene que:

$$E^2 - c^2 \cdot p^2 = m^2 \cdot c^4 \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{v^2/c^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)$$

Como se puede observar el término del lado derecho dentro del paréntesis es igual a 1, por lo tanto, la expresión anterior queda de la siguiente forma:

$$E^2 - c^2 \cdot p^2 = m^2 \cdot c^4 \quad (24)$$

De la ecuación 30 se puede decir que “un observador puede determinar la masa de un objeto si conoce su energía E y su momento $\vec{p}$ relativista” (Janssen, 2012, pág. 4).

Ahora, tanto la energía (ecuación 21) como el momento (ecuación 20) de un objeto dependen de la velocidad v con que se mueven con respecto a un observador. Un observador O' que está en reposo respecto a la partícula verá una energía $E = m \cdot c^2$ y un momento $\vec{p} = 0$, mientras que el observador O verá un momento no-nulo y una energía más grande. (Janssen, 2012, pág. 5).

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Hacer investigación educativa implica una conjunción de metodologías y procesos. Este tipo de estudio conlleva un proceso organizado, sistemático y empírico para comprender, conocer y explicar la realidad educativa, como base para construir la ciencia y desarrollar el conocimiento científico de la educación (Bisquerra & Alzina, 2004).

La pasada discusión que pretendía posicionar a uno de los dos enfoques investigativos, cuantitativo o cualitativo, como el mejor, ha dejado de lado la idea de que son irreconciliables y contradictorios y ha evolucionado para tomarlos como igualmente valiosos, aportantes y hasta complementarios que promueven un horizonte mas complejo, amplio y profundo (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

La investigación cuantitativa ofrece la posibilidad de generalizar los resultados más ampliamente, otorga control sobre los fenómenos, así como un punto de vista basado en conteos y magnitudes. También, brinda una gran posibilidad de repetición y se centra en puntos específicos de tales fenómenos, además de que facilita la comparación entre estudios similares. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, pág. 15)

Por su parte, la *investigación cualitativa* proporciona profundidad a los datos, dispersión, riqueza interpretativa, contextualización del ambiente o entorno, detalles y experiencias únicas. Asimismo, aporta un punto de vista “fresco, natural y holístico” de los fenómenos, así como flexibilidad. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, pág. 16)

La meta de la investigación mixta no es reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación, combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, pág. 532)

Como también lo hace notar Pole (2009), la metodología mixta puede definirse como la combinación de metodologías de investigación proveniente de la tradición cualitativa y cuantitativa, esto ayuda a no avivar el debate entre el uso de estos dos paradigmas dentro de una investigación educativa (Pole, 2009). Este tipo de enfoque puede ser considerado “como un continuo en donde se mezclan los enfoques cuantitativo y cualitativo, centrándose más en uno de ellos o dándoles el mismo peso” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, pág. 534).

Teniendo en cuenta lo anterior, se considera conveniente asumir una metodología mixta con preponderancia cuantitativa en el desarrollo del presente trabajo, ya que esta metodología

puede generar inferencias más sólidas, pues los datos son obtenidos y analizados desde distintas perspectivas (Pole, 2009). Para el proceso del mismo se diseñó una hipótesis que marca el proceso investigativo. La hipótesis aborda la descripción de un proceso de enseñanza limitado o escaso de la Teoría Especial de la Relatividad.

Para lograr los objetivos planteados en esta investigación se llevó a cabo el proceso presentado en la figura 22, se realizó una fundamentación bibliográfica para la recopilación de antecedentes y referentes. Dentro de esta se analizaron los Estándares Básicos de Competencias (EBC) y Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA) en ciencias naturales propuestos por el Ministerio de Educación Nacional (MEN) y para la caracterización del CDC en el proceso de enseñanza de la TER se encuestó a docentes en ejercicio del área de física de los grados décimo y undécimo de instituciones educativas del sector oficial de la entidad territorial certificada denominada Secretaría de Educación Departamental de Nariño (SED-Nariño). La población objetivo excluye a los docentes de las otras tres entidades territoriales certificadas de la región, es decir, quedan por fuera de este estudio la Secretaría de Educación Municipal de Tumaco, la SEM-Ipiales y la SEM-Pasto. Se determinó tomar la población de profesores de física de esta entidad territorial certificada porque se consideró que proporcionaría una idea más general de lo que se pretendió hallar en este trabajo.

El instrumento diseñado fue estructurado de tal forma que permitió obtener información sobre una población (Profesores de física del Departamento de Nariño) a través de una muestra de la misma, la información recolectada incluyó: datos personales tales como edad, nivel educativo, entre otros, así como cogniciones; es decir, índices de nivel de conocimientos de los temas planteados en la encuesta y elementos subjetivos como: opiniones, actitudes, motivaciones y sentimientos, todo aquello que empuja a una determinada acción (Hueso & Cascant, 2012).

La encuesta diseñada fue validada por un grupo de expertos (Hueso & Cascant, 2012) y se aplica con el fin de caracterizar, establecer, diagnosticar, precisar y determinar los principales acontecimientos que intervienen en el proceso de enseñanza de la TER. El grupo de expertos conformado por un doctor en física, dos doctores con experiencia en investigación didáctica, 3 docentes en ejercicio con experiencia en investigación didáctica y 3 docentes en ejercicio de la enseñanza de la física en educación secundaria, se pronunciaron manifestando que el instrumento es claro, pertinente y que buscaba develar conceptos relacionados con la investigación.

Posteriormente la encuesta fue enviada a los profesores que se encontraban nombrados en la SED-Nariño como docentes de aula de la asignatura de física para su diligenciamiento. Se logró conformar una base de 100 potenciales encuestados.

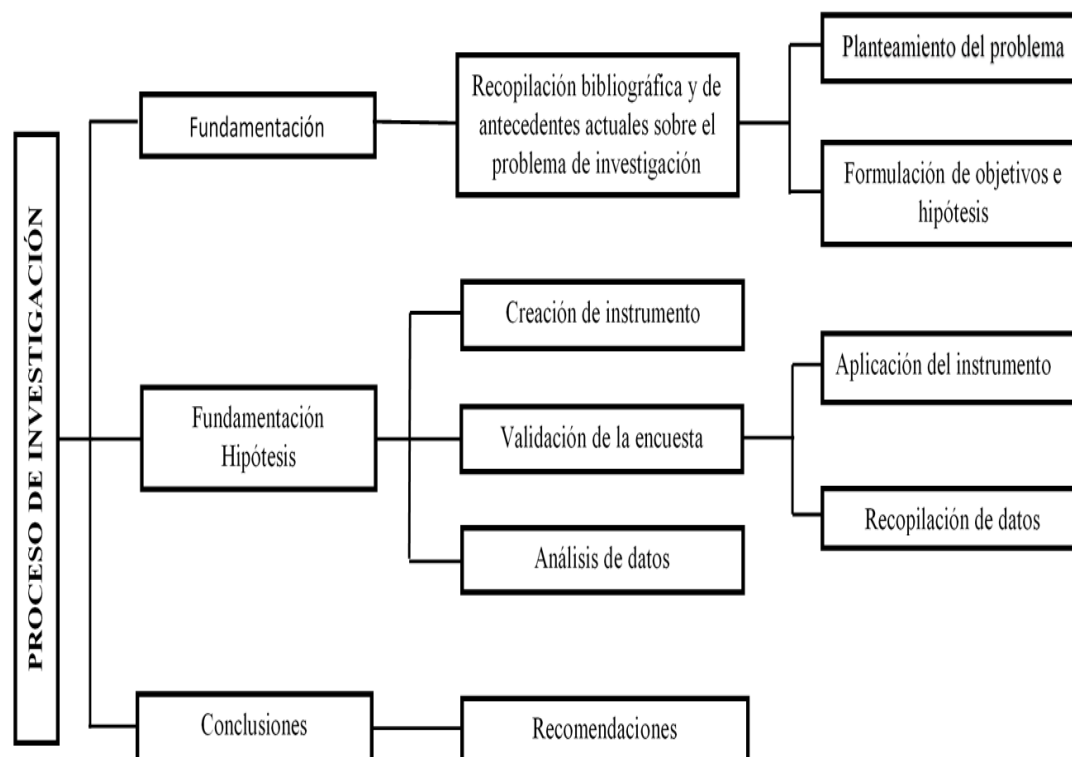


Figura 22: Diseño metodológico.

El cuestionario aplicado se presenta a continuación:

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

MAESTRÍA EN EDUCACIÓN

COHORTE XV

ENCUESTA

Caracterización de la enseñanza de la Teoría Especial de la Relatividad (TER) en el Departamento de Nariño.

ORIENTACIONES

Apreciado y respetado colega, de antemano, muchas gracias por su colaboración y su amable disposición. Por favor, lea cuidadosamente cada una de las siguientes proposiciones identificadas con un número o letra, luego, seleccione la opción que considere como la más apropiada o sírvase expresar su respetable y valiosa opinión. Cabe destacar que esta no es una

evaluación donde lo que marca es correcto o incorrecto, sólo nos interesa su postura acerca de cada uno de los puntos.

OBJETIVO:

Recolectar información sobre el conocimiento didáctico del contenido empleado en la enseñanza de la TER por los docentes de Física que hacen parte de las instituciones educativas públicas de la entidad territorial certificada Departamento de Nariño (SED-Nariño).

La encuesta tendrá dos partes: en la primera se solicitará información general y en la segunda información específica relacionada con el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) de la TER.

INFORMACIÓN GENERAL

a. Género:

Femenino _____ Masculino _____ Otro _____

b. Edad:

Entre 22 y 30 años _____ De 31 a 35 años _____ De 36 a 40 años _____ De 41 a 45 años _____ De 46 a 50 años _____ De 51 a 60 años _____ De 61 años en adelante _____

c. Años de servicio en el magisterio: _____

d. Nombrada (o):

En provisionalidad _____ En propiedad 2277 _____ En propiedad 1278 _____

e. Mencione su categoría en el escalafón: _____

f. Nombre de su título obtenido en pregrado:

g. Año de su graduación: _____

h. ¿Ha estudiado y culminado una especialización?

SÍ _____ No _____

Nombre de la especialización que estudió

i. ¿Ha estudiado y se graduó de una maestría?

SÍ _____ No _____

Nombre de la maestría que estudió

j. ¿Ha estudiado y se graduó de un doctorado?

SÍ _____ No _____

Nombre del doctorado que estudió

k. Aparte de sus títulos de pregrado y/o postgrado, ¿Ha presentado alguna evaluación estandarizada, nacional o internacional, que certifique la suficiencia de sus conocimientos en Física?

SÍ _____ No _____

INFORMACIÓN ESPECÍFICA

I. CONOCIMIENTO DIDÁCTICO GENERAL

1. ¿Recibió preparación en didáctica fundamental en pregrado para ejercer la profesión docente?

SÍ _____ No _____

2. ¿Qué tan preparado (a) se siente para desempeñar su rol de profesor (a) y desarrollar sus clases de Física?

Excelentemente preparado (a): _____ Bien preparado(a): _____

Regularmente preparado(a): _____ Mal preparado(a): _____

3. ¿Ha recibido formación en didáctica en postgrado?

En especialización Sí _____ No _____ En maestría Sí _____ No _____

En doctorado Sí _____ No _____

4. ¿Hace uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC'S) para desarrollar sus clases de Física (televisores, computadores, tablets, video beam, ¿entre otros)?

SÍ _____ No _____

5. ¿Actualiza sus conocimientos didácticos para la enseñanza de la TER?

SÍ _____ No _____

Si respondió afirmativamente a la pregunta anterior, ¿cómo lo hace?

II. CONOCIMIENTO DEL CONTENIDO

6. ¿Adquirió conocimientos sobre la Teoría Especial de la Relatividad (TER) en su formación profesional?

Sí _____ No _____

Si su respuesta es negativa, ¿Qué sabe sobre la TER?

7. ¿Considera conveniente la enseñanza de la TER en la educación secundaria de nuestro Departamento?

Sí _____ No _____

¿Por qué?

8. ¿incluye la enseñanza de la TER en su plan de área?

Sí _____ No _____

Si su respuesta fue negativa, ¿cuáles son las causas?

Si su respuesta fue afirmativa, ¿Qué temas incluye y en qué orden?

9. ¿Lo que usted enseña responde a la exigencia de las evaluaciones estandarizadas planteadas por el ICFES a través de las pruebas SABER 11?

Sí _____ No _____

¿Por qué?

10. ¿Actualiza regularmente sus conocimientos sobre la asignatura?

Sí _____ No _____

Si respondió afirmativamente a la pregunta anterior, ¿cómo lo hace?

III. CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL CONTENIDO

11. ¿Considera usted que aprender los conceptos de la TER es importante para los estudiantes?

Sí _____ No _____

Justifique su respuesta

12. ¿Cómo articula en su enseñanza los conocimientos previos de los estudiantes sobre la TER?

13. ¿Qué dificultades, limitaciones u otros factores influyentes relacionados con el proceso de enseñanza de la TER ha podido identificar?

14. Cómo enseña a sus estudiantes las siguientes afirmaciones:

a. El tiempo y el espacio no son absolutos.

b. La masa es energía

c. Que ningún cuerpo viaja a la velocidad de la luz.

15. ¿Qué aporta el experimento de Michelson y Morley en la enseñanza de la TER?

16. ¿Cómo trabaja con sus estudiantes una frase muy común: “Todo es Relativo”?

IV. CONOCIMIENTO DEL CONTEXTO

17. ¿Considera que lo que enseña se articula con lo que los estudiantes necesitan para la vida?

Sí _____ No _____

18. ¿Piensa que los conocimientos que desarrolla se articulan con las disposiciones del Proyecto Educativo Institucional (PEI) de su lugar de trabajo?

Sí _____ No _____

19. ¿En qué tipo de institución labora (académica, técnica, religiosa, indígena, normalista, etc.)?

¿Cómo incide esto en su quehacer como docente?

20. Describa de manera general algunas características de sus estudiantes.

¿cómo influyen estas en su enseñanza?

Nota: Las preguntas 11, 12, 28, 29, 33, 34 y 35 fueron tomadas del trabajo realizado por Loughran, Mulhall y Berry (Loughran, Milroy, Berry, Gunstone, & Mulhall, 2001).

3.1. Estándares Básicos de Competencias (EBC) y Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA) para ciencias naturales.

El análisis realizado a los EBC (MEN-Ascofade, 2004) y DBA (UDEA & MEN, 2016) en ciencias naturales direccionados por el MEN, que constituyen orientaciones pedagógicas y conceptuales que estipulan las bases del ejercicio docente en Colombia, señalando los “horizontes deseables” para la enseñanza y el aprendizaje, permitió inferir que: en ellos no hay una referencia directa a la ciencia moderna y contemporánea, al papel que esta juega en el desarrollo de los pueblos y a su enseñanza (Solbes, Muñoz, & Ramos, 2019). Este vacío se ve reflejado en que

para grado décimo y undécimo en el apartado de “Entorno Físico” / “Procesos Físicos”, se relacionan los siguientes temas:

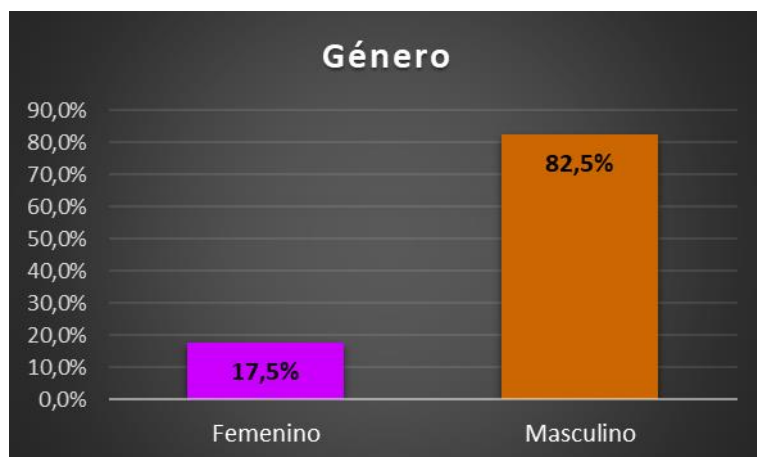
Movimiento rectilíneo uniforme, conservación de la energía mecánica, transformación de la energía mecánica en energía térmica, centro de masa, conservación del momento lineal e impulso, fluidos, atracción gravitacional, campo gravitacional y ley de gravitación universal, fuerzas macroscópicas y electrostáticas, voltaje, circuitos eléctricos, relaciones entre campo gravitacional y electrostático y entre campo eléctrico y magnético. Lo que evidencia que los documentos rectores de la enseñanza no motivan ni estipulan la enseñanza de la física moderna. Se concibe que estos documentos son una guía y que los maestros deciden si los toman, de tal manera que puedan profundizar y ampliar lo ahí planteado.

Sin embargo, es claro que se necesita que estos documentos sean actualizados y respondan a una visión más acorde de la ciencia moderna (Solbes et al., 2019), ya sea entendida como química o física moderna, dentro de la cual la Teoría Especial de la Relatividad juega un papel fundamental. Esto es congruente con las investigaciones que plantean la poca importancia dada a estos temas, pese a que los requerimientos sociales e intelectuales de esta época dependen de conceptos como la relatividad (Moreira, 2012), conceptos que potencializan una enseñanza en contexto.

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

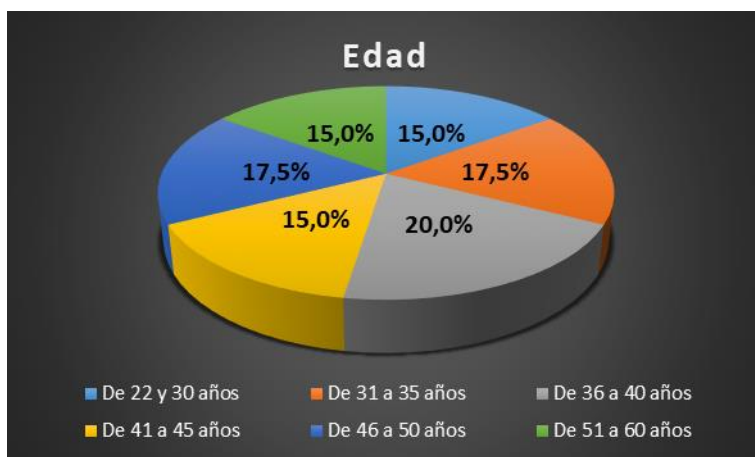
Mediante un proceso dispendioso se logró establecer una base de datos de los profesores responsables de la asignatura de física en el ente territorial certificado Departamento de Nariño. Se concretaron 40 cuestionarios que fueron la base para esta investigación, una muestra representativa ya que los resultados se obtuvieron a partir de una amplia variedad de participantes proporcionales al género de la población encuestada, las diferentes zonas del Departamento (sector rural, urbano, etnoeducadores) y las diversas instituciones de tipo académico, técnico, diversificado y etnoeducadoras. Si se consideran las limitantes de la pandemia, territorio abarcado, disposición, ocupaciones, voluntad y colaboración de los docentes, la muestra recolectada para este estudio cumpliría con los parámetros mínimos exigidos.

Información general



Gráfica 1: Respuestas de los docentes encuestados, respecto al género.

Tal como se observa en la gráfica 1, la mayoría de los encuestados fueron hombres, este hallazgo se conecta con lo planteado por Solbes, Monserrat y Furió (2007), quienes mencionan que una gran parte de las mujeres optan por alejarse de carreras como la física y la matemática, entre otras causas, debido a la imagen y valoración negativa de estas (Solbes, Montserrat, & Furió, 2007), así como también por el sesgo androcéntrico y de género en la ciencia (Manassero & Alonso, 2003); además por los estereotipos sociales tales como que las mujeres “no pueden con los estudios de Matemáticas y Física o que no tienen habilidades espaciales o matemáticas” (Solbes, Montserrat, & Furió, 2007, pág. 5).



Gráfica 2: Responder de los docentes encuestados sobre su edad.

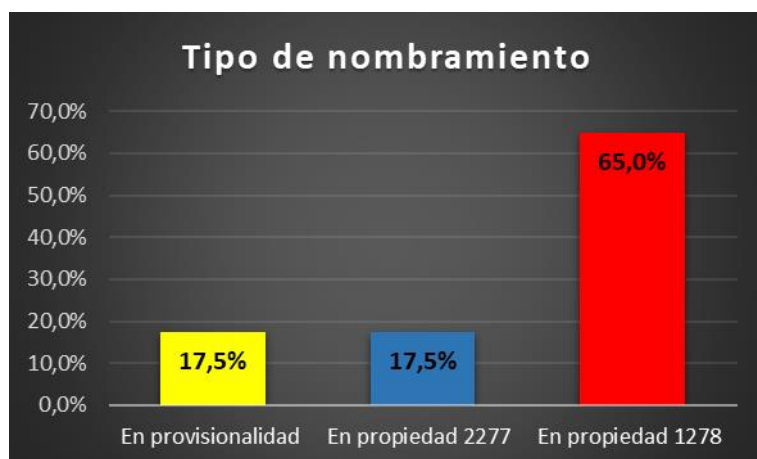
De la gráfica 2 se puede inferir que el ámbito de edad de los encuestados se presentó entre los 22 y 60 años. Aunque el mayor porcentaje se evidencia en el grupo etario de 36 a 40 años, la dispersión no es significativa con relación a los otros grupos; es decir, se encontró una distribución homogénea de edades. Se reporta que la mayor parte de la población encuestada llega hasta una edad de 45 años, representados por un 67,5%, considerándose esta como una razón para clasificar al magisterio encargado de la asignatura de física como una población adulta aún joven.



Gráfica 3: Responder de los docentes encuestados respecto a los años de servicio dentro del magisterio colombiano.

En la gráfica 3, la cual da cuenta de los años de servicio en el magisterio público, se halló el siguiente registro: el ámbito inicia con cero años y alcanza los 33 años de ejercicio en la labor docente. Se puede concluir que la mayor parte de los encuestados presenta como máximo 15 años de servicio en el magisterio nariñense. Este resultado concuerda y se relaciona directamente con

la edad cronológica de los participantes. Llama la atención que un gran porcentaje de los encuestados se encuentra entre 0 y 20 años de servicio, esto teniendo en cuenta que en el Departamento de Nariño no se cuenta con la licenciatura en física.



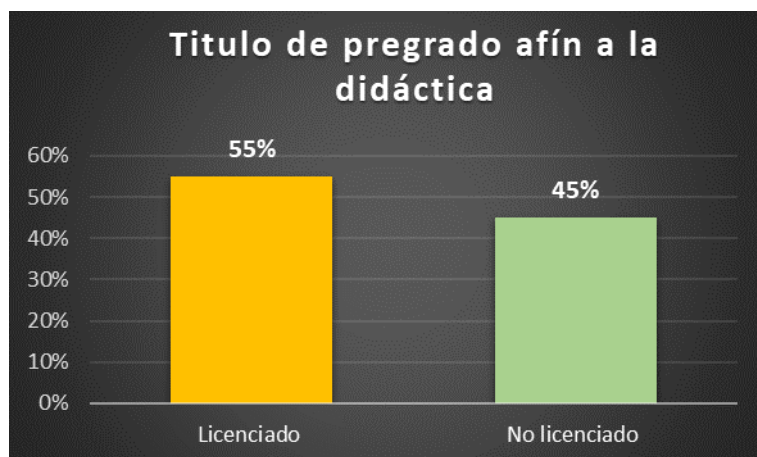
Gráfica 4: Respuestas de los encuestados al tipo de nombramiento.

Al observar la gráfica 4, se extrae que la mayor parte de los encuestados están nombrados o son provisionales dentro del decreto 1278 de 2002. De lo anterior se concluyó que hay un evidente relevo generacional que concuerda con las edades cronológicas y sus años de servicio en el magisterio.



Gráfica 5: Respuestas de los encuestados sobre el tipo de escalafón.

Con referencia a la gráfica 5, que se relaciona con las categorías o escalafones, se estableció que ninguno de los participantes que se encuentran regidos por el decreto 1278, se ubican en el máximo grado. Por otro lado, el 17,5% de los docentes que fueron nombrados bajo el decreto ley 2277 se localizan en la máxima categoría. Finalmente, también se halló que el 5% son docentes etnoeducadores ubicados en la categoría et3.



Gráfica 6: Títulos de pregrado de los encuestados y su afinidad con la educación.

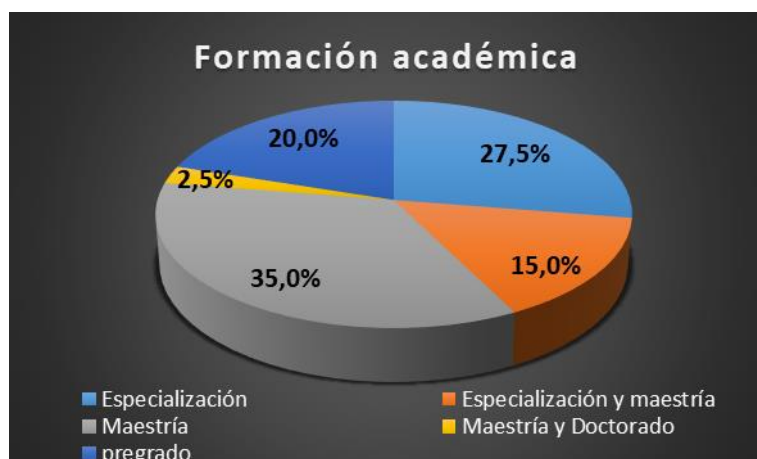
La gráfica 6 da a conocer que, desde la perspectiva de la formación universitaria, el 55% recibió una preparación con contenidos en procesos didácticos, mientras que el restante no tuvo contacto con la fundamentación pedagógica en pregrado; lo cual se podría relacionar con la apertura para otras profesiones hacia la carrera docente por parte del Estado, en manos del Ministerio de Educación Nacional y la CNSC a través de los concursos de méritos.



Gráfica 7: Título de pregrado y su afinidad con la física.

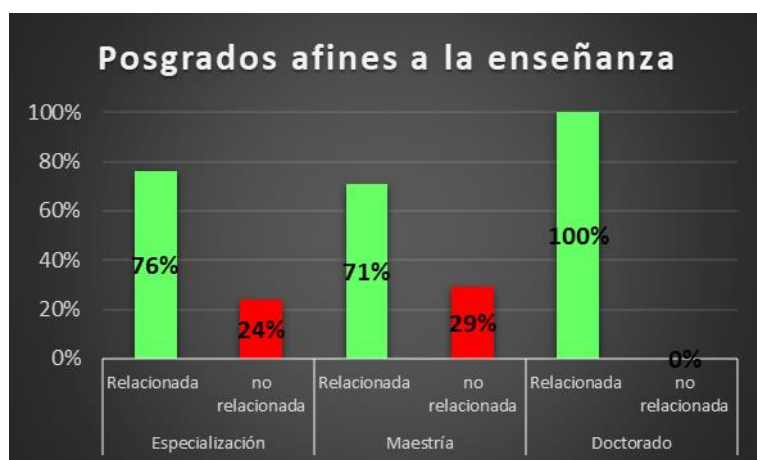
En la gráfica 7 se encontró que el 47,5%, licenciados en física y físicos, recibieron una formación estructural en la asignatura; los ingenieros, representados por el 27,5%, se prepararon en esta área en menor proporción. Además, en esta parte también se encontró que un 25% de los participantes no tiene ninguna relación con la formación en esta rama de las ciencias; dentro del porcentaje anteriormente mencionado se tiene a los licenciados en matemáticas, algunos de los cuales deben asumir la asignación académica de la física, contando con una formación propicia en el componente matemático instrumental, pero no siempre disponen del conocimiento del

contenido de área para explicar los fenómenos naturales desde la perspectiva epistemológica de la ciencia, dentro de este 25% se encontró que un 5% de quienes son responsables de esta materia no cuentan con una formación ni en didáctica, ni en la disciplina como tal.



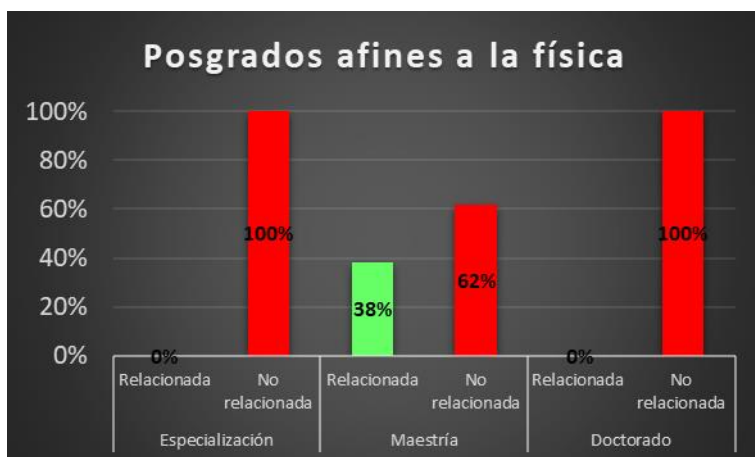
Gráfica 8: Formación posgradual.

Con base en la gráfica 8, la cual se refiere al nivel de formación posgradual, se concluye que el 80% de los encuestados han continuado con su formación, mientras que el 20% no ha realizado ningún tipo de estudio posgradual.



Gráfica 9: Estudios posgraduales y su afinidad con la educación

En la gráfica 9 se puede apreciar que la mayor parte de los encuestados que continuaron con una formación posgradual, lo hicieron en programas afines a la educación, lo cual conduciría a inferir un interés y compromiso por mejorar su conocimiento didáctico general.



Gráfica 10: Estudios posgraduales y su afinidad con la física

De la gráfica 10, se puede indicar que ningún especialista profundizó en el área de la física; por otro lado, entre los que estudiaron una maestría, el 62% lo hizo en un campo que no propicia un progreso en su conocimiento del contenido de la física y el restante de los que hacen parte de este grupo, se inclinaron por un programa más afín a la asignatura que se encuentra a su cargo; dentro de estos se encontró que estudiaron maestrías en física o en enseñanza de las ciencias, con lo cual se esperaría un avance en su conocimiento del contenido y en otros casos en su CDC.

Por otro lado, ninguno de los físicos (no licenciados) tiene estudios pedagógicos. Los licenciados en física tienen estudios posgraduales en áreas relacionadas con la educación.

Información específica

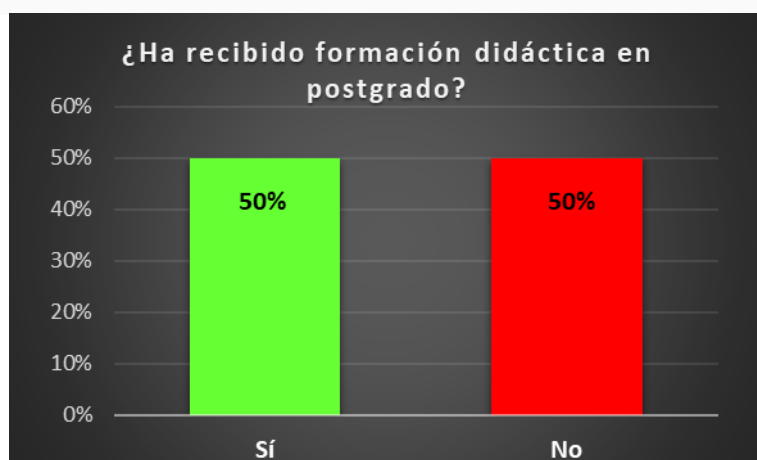
I. Conocimiento didáctico general



Gráfica 11: Respuestas a la pregunta: ¿Recibió preparación en didáctica fundamental en pregrado para ejercer la profesión docente?

La gráfica 11 revela que un porcentaje considerable de los encuestados no posee un conocimiento didáctico general para ejercer su labor, lo que es relevante en el proceso educativo, ya que da fluidez al trabajo de los maestros, al momento de elegir y usar los recursos que permiten el desarrollo de las competencias, favorece la dinámica, posibilita la crítica acerca de las diversas técnicas de aprendizaje, propicia el trabajo organizado, eficiente, efectivo y eficaz; se suma al ejercicio seguro fundamentado en una base planeada y de acuerdo a las necesidades del contexto. Dicho con las palabras de Medina y Salvador (2009):

La Didáctica es la disciplina o tratado riguroso de estudio y fundamentación de la actividad de enseñanza en cuanto propicia el aprendizaje formativo de los estudiantes en los más diversos contextos; con singular incidencia en la mejora de los sistemas educativos reglados y las micro y mesocomunidades implicadas (Escolar, familiar, multiculturas e interculturales) y espacios no formales. La Didáctica es una disciplina de naturaleza-pedagógica, orientada por las finalidades educativas y comprometida con el logro de la mejora de todos los seres humanos, mediante la comprensión y transformación permanente de los procesos socio-comunicativos, la adaptación y desarrollo apropiado del proceso de enseñanza-aprendizaje. (Medina & Salvador, 2009, pág. 7).

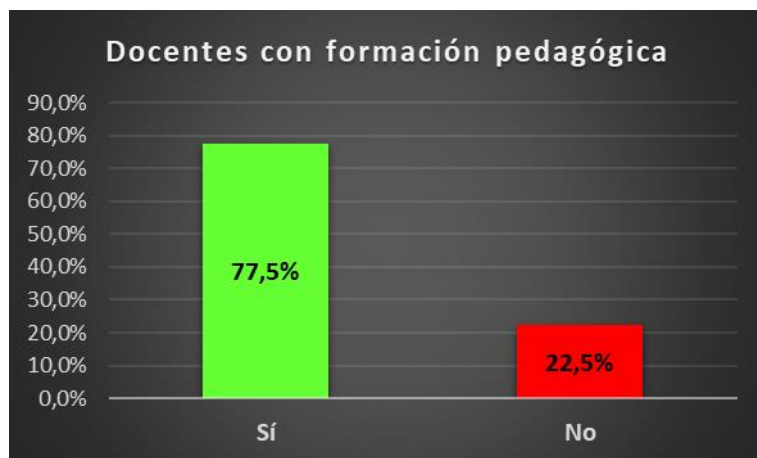


Gráfica 12: Respuestas a la pregunta: ¿Ha recibido formación didáctica en postgrado?

Con respecto a la formación didáctica en posgrado, la gráfica 12 destaca que la mitad de los sujetos de este estudio expresó que sí recibió esta preparación, en tanto que los otros participantes manifestaron lo opuesto.

Dentro de los estudios de posgrado en los que se recibieron los encuestados tenemos especialistas en: lúdica educativa, multimedia educativa, computación para la docencia, pedagogía y docencia, TIC aplicadas a la enseñanza. Adicionalmente, tenemos magísteres en:

didáctica, educación, enseñanza de las ciencias, TIC aplicadas a la educación, tecnología educativa, enseñanza de las ciencias exactas y naturales.



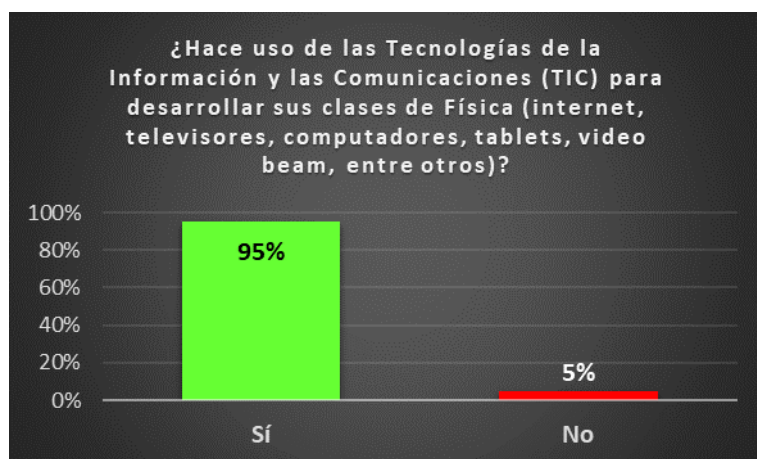
Gráfica 13: Docentes con fundamentación en didáctica, sin diferenciar pregrado o posgrado.

De la gráfica 13 se puede sacar que un poco más de las tres cuartas partes de los docentes poseen un conocimiento didáctico general indiferentemente si estos conocimientos fueron adquiridos a nivel de pregrado o posgrado. Este conocimiento es muy importante ya que permite a los profesores llevar la enseñanza de un área como la física de una forma más profunda y cercana “más allá del enseñar conceptos físicos sino a formar el pensamiento no solo de un físico, sino de cualquier persona, así no se incline por esta rama de la ciencia” (Auzaque, 2008, pág. 9). Sin embargo, no se puede perder de vista el porcentaje significativo de maestros que no cuentan con este conocimiento.



Gráfica 14: Respuestas a la pregunta: ¿Qué tan preparado (a) se siente para desempeñar su rol de profesor (a) y desarrollar sus clases de Física?

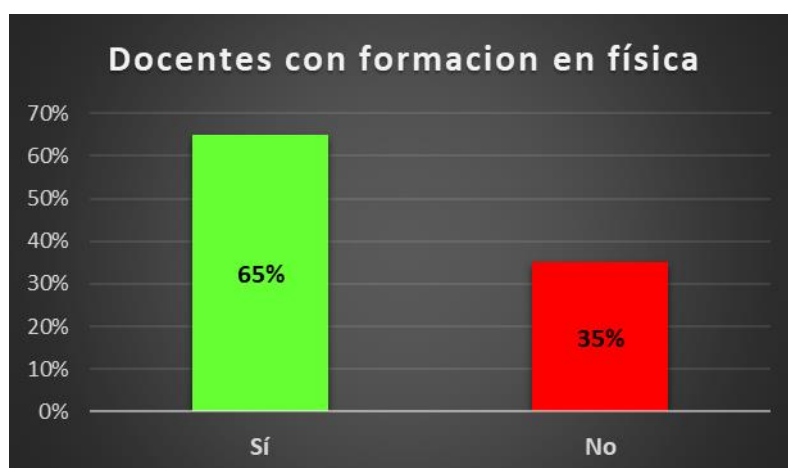
La gráfica 14 muestra que el 97,5% de los encuestados se siente confiado para afrontar su labor, esto debido a su proceso educativo tanto en pregrado como en posgrado, puesto que, si no tuvieron una fundamentación del conocimiento didáctico general en pregrado, lo hicieron en estudios posteriores o se podría atribuir a la experiencia en el aula y la autoformación.



Gráfica 15: Respuestas a la pregunta: ¿Hace uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) para desarrollar sus clases de Física (internet, televisores, computadores, tablets, video beam, entre otros)?

La grafica 15 describe la inclinación hacia el uso de las tecnologías de la información y la comunicación como recurso en sus clases por parte de los entrevistados, lo cual da pie para enfatizar la gran importancia del uso de las TIC en la actualidad. A juicio de Ardila y Arroyave (2012), el uso de las TIC promueve el dinamismo de los estudiantes dentro de las actividades académicas contribuyendo al intercambio de ideas, la estimulación y el interés (Ardila & Arroyave, 2012), más aún en el proceso educativo de las ciencias, ya que brinda alternativas supremamente beneficiosas para el progreso de los procesos didácticos y metodológicos actualizados (Ré, Arena, & Giubergia, 2012).

II. Conocimiento del contenido



Gráfica 16: Docentes con fundamentación en física, sin diferenciar pregrado o posgrado.

En la gráfica 16 se puede observar que un porcentaje representativo de los docentes tienen un conocimiento del contenido en física. No obstante, una cantidad considerable de participantes que tienen bajo su responsabilidad impartir la asignatura de física no poseen un conocimiento de la naturaleza de la ciencia como lo denomina Acevedo (2009), “*un buen conocimiento de la asignatura que se imparte significa saber que algo es así, comprender por qué lo es y saber bajo qué circunstancias es válido el conocimiento*” (Acevedo, 2009, pág. 5), además, este permite al maestro tener claro los contenidos de la asignatura y cuales presentan mayor dificultad en su comprensión.

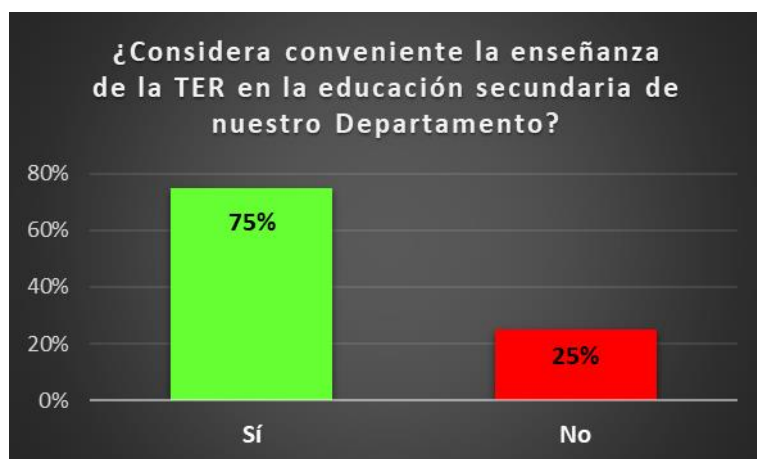


Gráfica 17: Respuestas de los encuestados a la pregunta: ¿Adquirió conocimientos sobre la Teoría Especial de la Relatividad (TER) en su formación profesional?

De la gráfica 17 se puede relacionar que la mayoría de los encuestados adquirió conocimientos de la TER en su formación profesional, lo cual no es acorde a los títulos

obtenidos, ya que entre los que afirman tener dicha preparación hay ingenieros metalúrgicos, ingenieros de minas, ingenieros ambientales, ingenieros industriales y matemáticos, cuyas carreras universitarias no incluyen a la TER en sus planes de estudio. Por otro lado, dentro de los que respondieron afirmativamente se reporta licenciados en física, físicos e ingenieros electrónicos, los cuales son egresados de programas cuyos currículos contienen las temáticas referentes a la física moderna.

Los participantes que respondieron negativamente manifestaron que conocen lo siguiente sobre la TER: que es una teoría formulada por Albert Einstein en la cual se explica la relación entre espacio y tiempo debido a movimientos con velocidades constantes, que habla sobre la deformación del espacio-tiempo, formulando que estos no son absolutos. Por su parte, otros afirmaron que desconocen lo relacionado con la TER.



Gráfica 18: Respuestas a la pregunta: ¿Considera conveniente la enseñanza de la TER en la educación secundaria de nuestro Departamento?

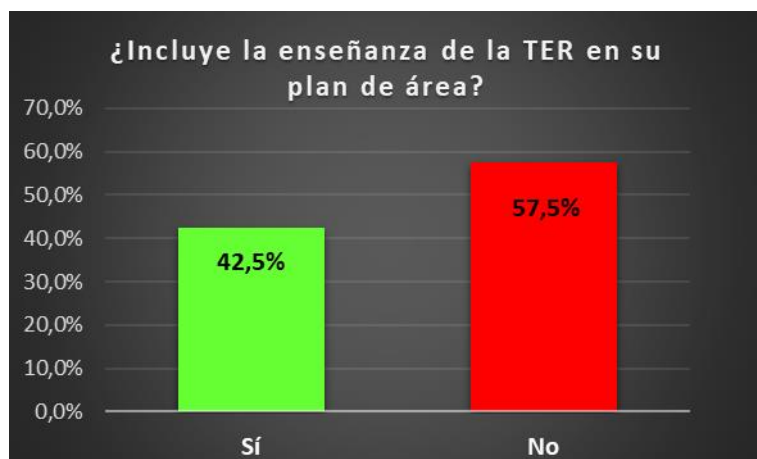
Con relación a la conveniencia de la enseñanza de la TER en la educación secundaria de nuestro Departamento, de la gráfica 18 se alude que la mayor parte de los encuestados se manifestaron favorablemente; argumentaron que este conocimiento es importante, ya que ayuda a interpretar y entender el contexto en el que se habita, además que los desarrollos tecnológicos actuales y futuros están estrechamente relacionados con la TER. Con respecto a esto Arriassecq y Greca (2004) postulan que unas de las razones por las cuales se debe incluir la TER en la enseñanza media es que despierta la curiosidad, da pie a que los educandos incorporen a su formación científica conceptos de la física moderna y contemporánea que han sido generadores de cambios en la ciencia, además, ayuda en la motivación de los estudiantes para que continúen sus estudios en carreras universitarias relacionadas con la ciencia (Arriassecq & Greca, 2004).

Paralelamente, los participantes argumentaron que la enseñanza de este tipo de temas coadyuva a romper el imaginario de que este es un asunto exclusivo para genios.

Lo anterior concuerda con la posición de Pérez y Solbes (2006), quienes proponen que es importante incluir la relatividad en los planes de área de las instituciones de educación media, porque:

- El papel de la relatividad en la historia de la física proporciona una oportunidad para reflexionar acerca de la creación de la ciencia, de la evolución de conceptos.
- La relatividad proporciona un marco de validez general para la forma de las leyes físicas (deben ser invariantes respecto a los diversos sistemas de referencia inerciales).
- Facilita una mayor comprensión de la física clásica, al mostrar los límites de validez de sus principales conceptos: espacio, tiempo, masa, cantidad de movimiento, energía.
- Ilustra acerca de las relaciones física-cultura-sociedad. La importancia de la teoría (y sus mistificaciones) en el pensamiento filosófico y en la cultura general se prolonga hasta hoy.
- Y, por último, pero no menos importante, por el interés que manifiestan los alumnos, ya que la relatividad cuestiona los conceptos básicos de tiempo y espacio. ¿Cómo puede ser el tiempo distinto para un observador en reposo y otro en MRU? ¿No será que nos parece distinto? ¿Cómo en ‘El Planeta de los Simios’ regresan tantos años después? ¿Por qué no envejecen los de la nave en vez de los de la Tierra? ¿Se puede viajar en el tiempo? (Pérez & Solbes, 2006, pág. 2).

Por su parte, los que se mostraron negativos a esta conveniencia giran en torno a que esta temática no está incluida como requerimiento en los estándares, ni en los Derechos Básicos de Aprendizaje, ni tampoco es evaluada por la prueba de Estado Saber – 11 administrada por el ICFES, no la incluyen en su plan de área, entre otras razones, por priorización de los temas y falta de tiempo. Asimismo, mencionan que estos contenidos no son relevantes para el nivel de secundaria y que los estudiantes no le dan la debida importancia, ya que en su gran mayoría no continuarán con estudios universitarios. Unos pocos docentes consideran que este tema es muy avanzado y difícil.



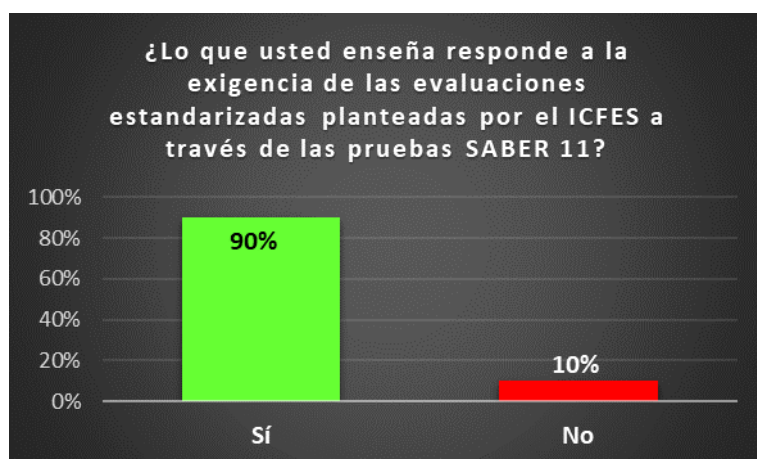
Gráfica 19: Respuestas a la pregunta: ¿Incluye la enseñanza de la TER en su plan de área?

La gráfica 19 da a conocer que la enseñanza de la TER no es tomada en cuenta por la mayoría de los encuestados. Este resultado impacta sobre el objetivo general de la investigación en la medida que permite visibilizar una aparente debilidad en el CDC para la enseñanza de la TER, lo que podría ser confirmado, profundizado o rebatido con otro tipo de investigación que replique la presente.

Los docentes que no tenían en cuenta en sus planes de área la enseñanza de la TER lo hacían porque este tema no está incluido en los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales, ni tampoco en los DBA y porque la asignación académica en horas es muy escasa. Por otra parte, afirman que se busca enseñar, ante todo, lo que se evalúa en las Pruebas Saber 11 y el ICFES no tiene en cuenta la TER, posiblemente porque no es importante para dicho instituto y considera que estos temas son muy complejos para el nivel de secundaria; lo cual concuerda con lo definido por Muñoz, Ramos y Marmolejo (2019) que señalan que los DBA evidencian vacíos respecto a la TER, además, que aunque estos garantizan cierta independencia para ejercer la libertad de cátedra, también la delimitan con las pruebas externas a las que se alinean. En adición “la enseñanza de las ciencias naturales en Colombia enfrenta un problema relacionado con sus currículos desactualizados y desarticulados del contexto y desarrollo tecnocientífico del momento” (Muñoz, Ramos, & Marmolejo, 2019, pág. 2).

Se reporta que un docente expresó que no incluía la enseñanza de la TER en su plan de área porque no era una temática que se evaluaba en la Prueba Saber 11, aunque afirmó que formaba parte de los Derechos Básicos de Aprendizaje en Ciencias Naturales, lo cual no corresponde a la realidad.

Los profesores que sí incluían la enseñanza de la TER en su plan de área lo hacían tratando temas como: sistemas de referencia, la dualidad de la luz, constancia de la velocidad de la luz, transformaciones, relatividad del espacio y del tiempo, paradojas, lo que, en cierta medida, da cuenta de la veracidad de sus respuestas. No obstante, hubo maestros que manifestaron que sí incluían la enseñanza de la TER en su plan de área, pero sus justificaciones no fueron acordes a los temas que se deberían tratar dentro de la TER.



Gráfica 20: Respuestas a la pregunta: ¿Lo que usted enseña responde a la exigencia de las evaluaciones estandarizadas planteadas por el ICFES a través de las pruebas SABER 11?

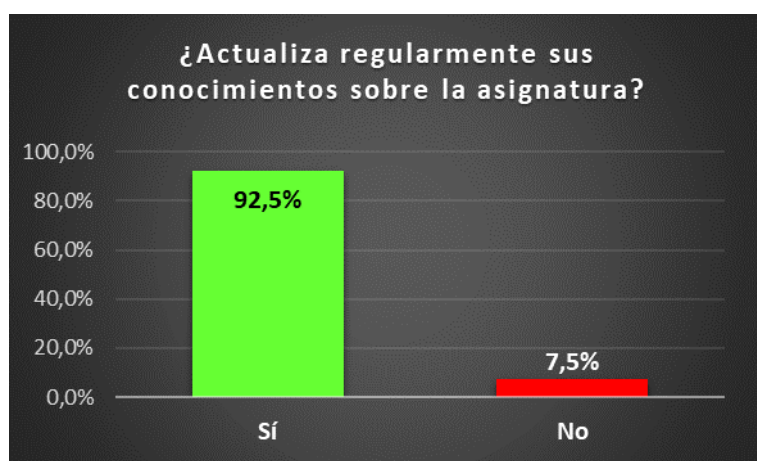
De la gráfica 20 se puede inferir que la mayoría de encuestados afirmó que lo que enseñaba respondía a la exigencia de las evaluaciones estandarizadas planteadas por el ICFES a través de la prueba Saber 11, argumentando que lo enseñado estaba estipulado en los Estándares Básicos de Competencias de Ciencias Naturales y los Derechos Básicos de Aprendizaje direccionados por el MEN. Entre otros respaldos, se encontró que los docentes imparten los temas que aparecen en las pruebas de Estado, incluyendo en su mayoría únicamente lo relacionado con la física clásica. Algunos maestros manifiestan que preparan a los estudiantes para afrontar la prueba Saber 11; es decir, hay una especie de pre-ICFES en algunas instituciones que exigen resultados positivos en dichas pruebas, porque con esas cifras también evalúan a los docentes e instituciones.

En esta dirección, Calles y Lozano (2014) aducen que la prueba saber 11 está sujeta a un grupo de parámetros delimitados, a la generalización al momento de aplicar una prueba y su validación mediante los resultados obtenidos por los estudiantes que presentaron el examen. De esta manera, el brillo del proceso educativo se ve opacado por la racionalidad técnico instrumental del afán por conseguir “buenos resultados” en dichas pruebas. En este sentido la

calidad educativa se evidencia truncada en su componente formativo y se ve limitada al campo instruccional del desarrollo de simulacros y el suministro de estrategias para enfrentar dicho test. A manera de cierre de este punto, es pertinente apuntar al carácter paramétrico de estos exámenes sobre la calidad del proceso de enseñanza de los maestros y las instituciones (Calles & Lozano, 2014).

Además, se encontró que había docentes que enseñaban lo planeado sin tener en cuenta otro motivo más que la costumbre.

De los maestros encuestados que respondieron que lo que enseñaban no se relacionaba con los lineamientos de las pruebas Saber 11, argumentaron que el ritmo de aprendizaje en algunos sectores de la población atendida era demasiado lento y el contexto suponía una limitante que únicamente se quedaba en lo concerniente a su cultura, saber ancestral y vivencias, dificultando el empalme entre lo local y los requerimientos globales. Finalmente, otros manifestaron que se encontraban en una especie de limbo en el que no sabían si preparar a los estudiantes para la universidad, para la vida o para la prueba Saber.



Gráfica 21: Respuestas a la pregunta: ¿Actualiza regularmente sus conocimientos sobre la asignatura?

Respecto a la actualización de conocimientos de la asignatura es preciso recordar y tener en cuenta los resultados de las gráficas 7 y 16 las cuales indican que un alto porcentaje de profesores responsables de la asignatura de física tenían una formación distinta a la de los físicos y licenciados en física, por lo que aparentemente se veían obligados a actualizarse para poder desempeñar sus labores en este campo.

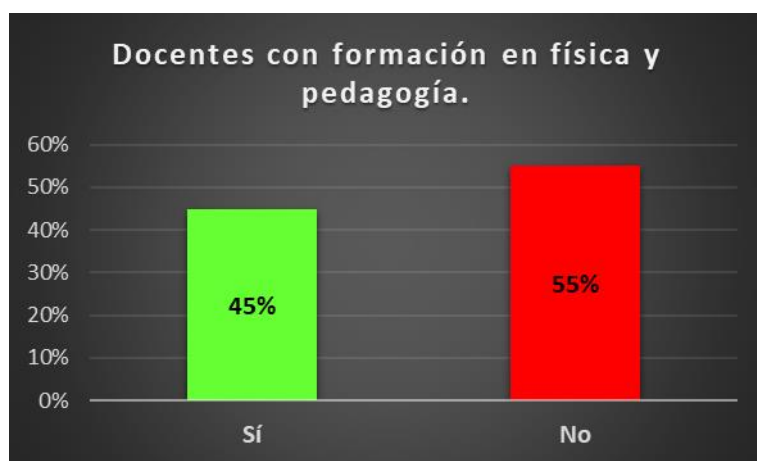
De la gráfica 21 se puede concluir que la mayor parte de los encuestados sí se mantenía al día y lo hacían de manera autodidacta a través de internet, visitando páginas especializadas,

leyendo sobre los avances científicos y tecnológicos en libros y artículos en revistas científicas, analizando videos y documentales; otros eran partícipes en grupos de distintas redes sociales, mientras que algunos más asistían a capacitaciones, seminarios, conversatorios, cursos, simposios y otros eventos académicos. Finalmente, un grupo de encuestados consideraban que se actualizaban a través de la formación continua en posgrado. Tal como lo plantean Nieva y Martínez (2016), los profesores son protagonistas en la sociedad, ya que no solo transmiten saberes, sino que son artífices del aprendizaje, el cual debe ser planificado, organizado y anticipado del desarrollo de los sujetos según Vygotsky, por tal razón se requiere una formación continua por parte de los docentes (Nieva & Martínez, 2016).

La formación docente no debe ser accidental y espontánea, tampoco se circunscribe a los que se inician como educadores; ella es fundamental para todos los actores educativos que participan de los procesos de desarrollo de la cultura, del tipo de ser humano y sociedad inclusiva que se quiere perpetuar. Asimismo, la importancia de la formación docente para la educación y la sociedad se confirma por la UNESCO (2014), al referir que "si el docente no cambia, no podrán hacerse cambios relevantes en los procesos educativos para que estos sean conforme a la necesidad que se genera de las demandas sociales. (Nieva & Martínez, 2016, pág. 4) "

Es decir, la actualización de conocimientos debe ser constante e imperativa para que pueda ser un motor de cambio social.

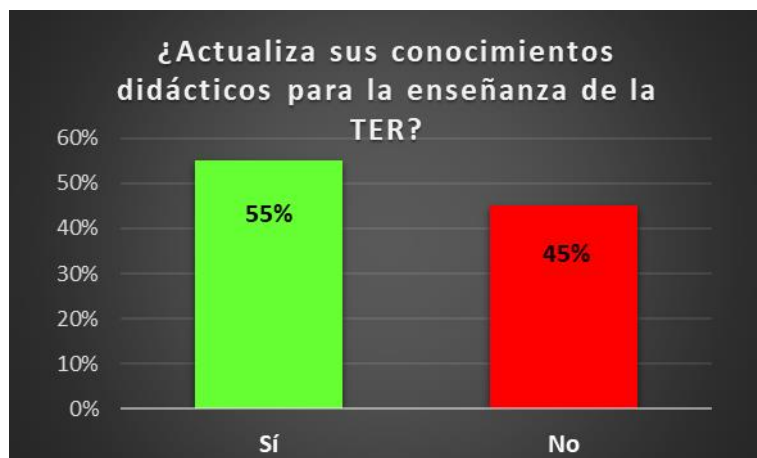
III. Conocimiento didáctico del contenido



Gráfica 22: Docentes con formación en física y pedagogía.

La gráfica 22 que hace alusión a la formación en física y en pedagogía, sin diferenciar si el conocimiento fue adquirido en pregrado o en posgrado, permite concluir que una gran parte de los docentes que imparten la asignatura de física no cuenta con el conocimiento didáctico del

contenido para desarrollar su trabajo, el cual según Valbuena (2007) es un importante cuerpo de conocimiento, fundamental para la enseñanza de un saber particular (Valbuena, 2007).



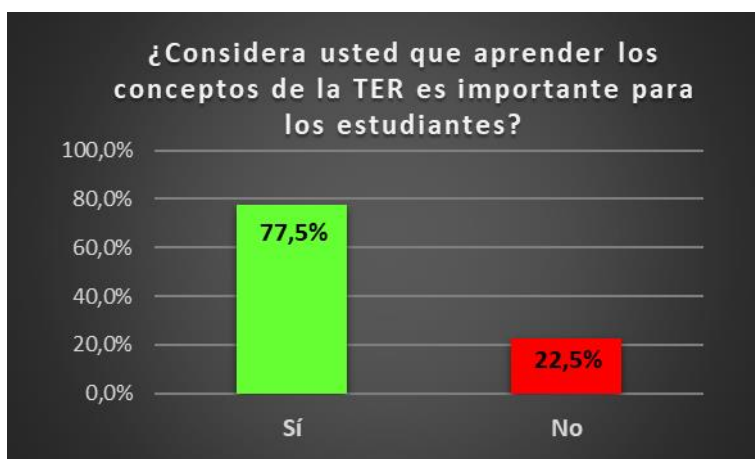
Gráfica 23: Respuestas a la pregunta: ¿Actualiza sus conocimientos didácticos para la enseñanza de la TER?

Con respecto a la actualización de conocimientos didácticos para la enseñanza de la TER, de la gráfica 23 se puede manifestar que hay una visión dividida en este ítem, lo cual es inquietante, ya que, la actualización de los conocimientos es necesaria no solo en esta temática sino que en todas las áreas del conocimiento, puesto que en la educación se presentan cambios continuos tanto en las tecnologías como en las metodologías educativas, la actualización ayuda a que el proceso educativo se lleve a cabo de una forma significativa, pertinente y contextualizada (Camargo, y otros, 2004).



Gráfica 24: Respuestas de los encuestados a la forma de actualización sobre los conocimientos didácticos para la enseñanza de la TER.

La grafica 24 da a conocer que entre los que sí se actualizaban, lo hacían a través de diversos recursos en internet, mediante la lectura de libros, artículos y revistas, usando diversas fuentes y otros lo hacen con métodos no determinados de actualización.



Gráfica 25: Respuestas a la pregunta: ¿Considera usted que aprender los conceptos de la TER es importante para los estudiantes?

De la gráfica 25 se puede decir que un menor porcentaje de los participantes consideraban que aprender los conceptos de la TER no era importante para los estudiantes; ellos argumentaban que no se abordaban en las pruebas Saber 11, tampoco eran tenidas en cuenta por el MEN, otros consideraban que el nivel era muy alto y demasiado complejo tanto para la enseñanza como para el aprendizaje y no alcanzaba el tiempo. Algunos manifestaron que estos conocimientos no eran necesarios para su proyecto de vida a menos que fueran a estudiar física, algunos maestros consideraron que los estudiantes no los necesitaban porque ellos no iban a continuar estudios universitarios; otros maestros opinaron que estos conocimientos eran innecesarios e irrelevantes y que los estudiantes podían llevar una vida normal sin estos, lo cual se contrapone en algunos aspectos a lo considerado por varios autores, entre ellos Pérez (2003), quien manifiesta que las dificultades tanto de aprendizaje como de enseñanza de la física moderna y dentro de esta, la TER, no son muy diferentes a las que afrontó la física clásica en su momento (Pérez H. , 2003). Por otra parte, Pérez y Solbes (2003) refieren que la enseñanza de la TER propicia la motivación y la curiosidad en los estudiantes (Pérez & Solbes, 2003), además permite contextualizar en el salón de clase los avances tecnológicos del momento y estimula la escogencia de estudios posteriores relacionados con la ciencia (Pérez & Solbes, 2006).

En el otro lado de la moneda se ubican los encuestados que consideraban que aprender los conceptos de la TER sí era importante para los estudiantes, ya que todo conocimiento era el fruto

de un arduo proceso y permitía tener una visión más amplia y profunda de la física y algunos fenómenos, contribuyendo en gran medida a formar una cultura científica, ponía a pensar al estudiante y lo sacaba de su zona cómoda, despertaba su curiosidad y creatividad y le brindaba posibilidades para comprender el universo. Otros docentes pensaban que era importante debido a su estrecha relación con los avances tecnológicos. Finalmente, algunos maestros desmitificaban la física e intentaban deselitizarla acercándola a los estudiantes y rompiendo el imaginario que la circunscribe a un grupo selecto de superdotados o superinteligentes. Todo esto va acorde a lo planteado por diversos autores como:

Pérez (2003) quien manifiesta que la teoría de la relatividad proporciona una visión más correcta de cómo se desarrolla la ciencia actual, despierta interés y curiosidad en los alumnos, además que ayuda a proporcionar una cultura científica actual (Pérez H. , 2003).

Pérez y Solbes (2006) los que plantean que el enseñar la física relativista posibilita la reflexión sobre la creación de ciencia y el avance de los conceptos, ayuda a la comprensión de la física clásica, señala sobre la cercanía entre física-cultura-sociedad y porque los estudiantes demuestran interés.

Del pozo (2017) menciona que la TR ayuda a *“aumentar el interés/motivación que manifiestan los alumnos, ya que la relatividad cuestiona los conceptos básicos de tiempo y espacio”* (pág. 37), además que esta influye en el pensamiento y en la manera de observar la sociedad (Del Pozo, 2017).

Prodanoff (2015) presenta la enseñanza de la relatividad genera curiosidad e interés por las ideas que han revolucionado el siglo pasado y que se oponen a la intuición en nuestra vida cotidiana (Prodanoff, 2015).

Muñoz, Ramos y Marmolejo (2019) quienes plantean que la enseñanza de las ciencias modernas y dentro de estas la TER, estimulan la curiosidad de los educandos y los ayuda a ver la física cercana a ellos, además los motiva hacia la elección de estudios universitarios relacionados con la ciencia, además que a la física contemporánea se le endilga una complejidad muy alta, la cual no es muy diferente a la de otras temáticas (Muñoz, Ramos, & Marmolejo, 2019).

➤ Respecto a la pregunta ¿Cómo articula en su enseñanza los conocimientos previos de los estudiantes sobre la TER?

De los encuestados que manifestaron que sí incluían la TER en sus planes de área, mencionaron que articulaban los conocimientos previos de sus estudiantes sobre este tema

mediante explicaciones, análisis de videos, mesas redondas, foros, facilitando la expresión y participación activa de los estudiantes. Estos maestros usaban ejemplos cotidianos, hacían pruebas diagnósticas sobre el tema, indagaban sobre el conocimiento que los estudiantes tenían acerca del espacio exterior, naves, películas, series, documentales, aunque consideraban que estos saberes eran muy superficiales e inexactos. Pérez (2003) declara que los saberes previos de los educandos son muy importantes para el desarrollo de los contenidos, ya que a partir de estos se llega a la construcción de nuevos conocimientos (Pérez H. , 2003), puesto que “cuando el alumno inicia un proceso de enseñanza dispone de capacidades, instrumentos, estrategias y habilidades para llevar a cabo el proceso, lo que le permite afrontar el aprendizaje del nuevo contenido” (Pérez A. , 2019, pág. 8).

Finalmente, hay docentes que sí tienen en cuenta la TER, pero esto no implica que le den importancia a los conocimientos previos de los estudiantes como punto de partida y abordan el tema sin contextualización; lo cual va en contra vía de lo sugerido por Pérez (2019), quien menciona que todo proceso educativo debe iniciar con un contacto al contenido a tratar, para que los estudiantes se adapten y hagan memoria de esos componentes que contribuyen a la construcción del saber, esto constituye el aprendizaje significativo (Pérez A. , 2019).

➤ A la pregunta ¿Qué dificultades, limitaciones u otros factores influyentes relacionados con el proceso de enseñanza de la TER ha podido identificar?

Dentro de los docentes que afirmaron enseñar la TER, manifestaron que tenían las siguientes dificultades, limitaciones y otros factores que impactaban sobre su proceso de enseñanza de este tema:

❖ Debilidades en la conectividad a internet y carencia de laboratorios para hacer que los estudiantes sean protagonistas de su propio progreso.

La debilidad planteada anteriormente es coherente con lo dicho por Pérez (2003) cuando enuncia que la principal dificultad de la enseñanza de la TER es la fase experimental, la cual puede ser trabajada con el uso de programas de computador (Pérez H. , 2003), pero en gran parte de las instituciones educativas no se cuenta con dichas aplicaciones, ni con los recursos para adquirirlas.

❖ Falta de asignación académica para ese tema en particular.

En el decreto 1850 del 2002 se establece que “los períodos de clase serán definidos por el rector o director del establecimiento educativo al comienzo de cada año lectivo”,

generalmente para la asignatura de física se proporcionan 4 horas semanales en grado decimo y cuatro horas semanales en grado undécimo, tiempo que no es suficiente para abarcar todas las temáticas consideradas dentro de los estándares básicos de competencias (Torres, 2018, pág. 20), razón por la cual los espacios brindados para esta rama de las ciencias no alcanzan para la inclusión de la TER. Actualmente en varias instituciones educativas están brindando la posibilidad de que los educandos se formen en asignaturas como la física y la química desde grado sexto, lo cual posibilita que dentro de unos años se llegue a concretar la inclusión y la enseñanza de la TER en el bachillerato, dejando de ser el tiempo un limitante.

- ❖ Falta de interés, predisposición y prejuicios por parte de los estudiantes sobre el tema.

Respecto al gusto por el tema lo mencionado por los docentes está en contraposición a lo que hacen notar Pérez y Solbes (2006) donde mencionan que los contenidos de la TER despiertan el interés y la curiosidad de los estudiantes, que si en algunos casos se presenta una actitud negativa en el proceso educativo de la ciencia es debida a que se les enseña de una forma descontextualizada, sin utilidad y desactualizada, (Pérez & Solbes, 2006).

- ❖ Insuficiencias en la fundamentación matemática y lectoescritora.

- ❖ Complejidad de la temática para los estudiantes del nivel de secundaria.

Respecto a las herramientas matemáticas y la complejidad del tema, Ostermann y Moreira (2000) y Buitrago (2019) dicen que las dificultades que se pueden presentar en el proceso educativo de la física moderna no son muy diferentes a los de la física clásica (Ostermann & Moreira, 2000) (Buitrago, 2019).

- ❖ Dificultades para la contextualización y adaptación de contenidos.

- ❖ Dificultades para la consecución de material didáctico y de apoyo para el proceso de enseñanza.

Las anteriores dificultades están relacionadas con el punto de vista de Muñoz, Ramos y Marmolejo (2019) donde manifiestan que a “la enseñanza de la Física Contemporánea se le atribuye una sobredimensionada complejidad” (pág. 7), por lo tanto, las dificultades que se presentan en el proceso educativo no se deben al principio de la ciencia como tal, sino a la forma de enseñarlo (Muñoz, Ramos, & Marmolejo, 2019). Con base en lo anterior se ratifica la importancia del CDC, ya que este hace referencia a los modos en que los docentes comprenden y representan los temas disciplinares a los estudiantes, análogamente es un importante cuerpo de conocimiento,

fundamental para la enseñanza de un saber particular. Los docentes competentes adoptan este modo de comprender y representar los temas disciplinares, quienes además de conocer los contenidos claves de la materia, conocen las estrategias para su enseñanza y anticipan las posibles dificultades y concepciones erróneas que traen sus estudiantes (Valbuena, 2007).

Lo cual confluente en:

La necesidad de fortalecer los programas donde se forman los futuros docentes. Es necesario, preparar al docente de ciencias con las herramientas científicas y didácticas adecuadas para abordar con confianza esta línea de enseñanza, pues la “piedra angular” para lograr una verdadera renovación en la educación científica es la formación del profesorado. (Muñoz, Ramos, & Marmolejo, 2019, pág. 7)

❖ La enseñanza de la TER no se incluye en los estándares, ni tampoco en los DBA.

Lo anteriormente mencionado es evidenciable mediante la lectura y análisis de los Estándares Básicos de Competencias (MEN-Ascofade, 2004) y los Derechos Básicos de Aprendizaje (UDEA & MEN, 2016) en ciencias naturales emitidos por el Ministerio de Educación Nacional.

➤ Como una forma de confirmar el nivel de coherencia del 42,5% de los encuestados que sí incluían la TER en su plan de área, se solicitó que explicaran la manera de enseñar algunos elementos constitutivos de la TER, respondiendo así:

a. El tiempo y el espacio no son absolutos: para la explicación de esta premisa algunos docentes acudían a la explicación de ejemplos y análisis de situaciones, otros usaban marcos de referencia como por ejemplo la transmisión del movimiento circular uniforme y el movimiento en poleas, un grupo de maestros recurrían a la paradoja de los gemelos. Algunos otros docentes mencionaron que utilizaban el análisis de videos y fórmulas; también partían de la visión de la gravedad como un problema geométrico (deformación del espacio-tiempo); es así como tomaban una tela elástica grande cuadrículada, ubicaban una masa en el centro y explicaban la deformación del espacio con la diferencia del tamaño de los cuadros. Un pequeño conjunto de profesores se limitaba a la descripción superficial de la teoría.

b. La masa es energía: para explicar este apartado algunos docentes observaban y analizaban videos con experimentos tales como el funcionamiento de las bombas nucleares y la mayoría de los que enseñaban esta premisa empezaban por el análisis de la fórmula de Einstein.

c. Ningún cuerpo viaja a la velocidad de la luz: para abordar este asunto los docentes expresaban que utilizaban ejemplos de la vida diaria, empleando la comparación de velocidades de cuerpos conocidos como la de un automóvil, un avión y un cohete; otros se apoyaban en experimentos de la óptica, mientras que algunos más analizaban videos y fórmulas.

Lo anteriormente mencionado es coherente y válido para la explicación de los temas planteados, pero cabe resaltar que ninguno de los encuestados mencionó hacer uso, por ejemplo, de simuladores y aplicaciones en celulares y computadores, evidenciando una aparente contradicción, ya que afirmaron que acudían a las TIC.

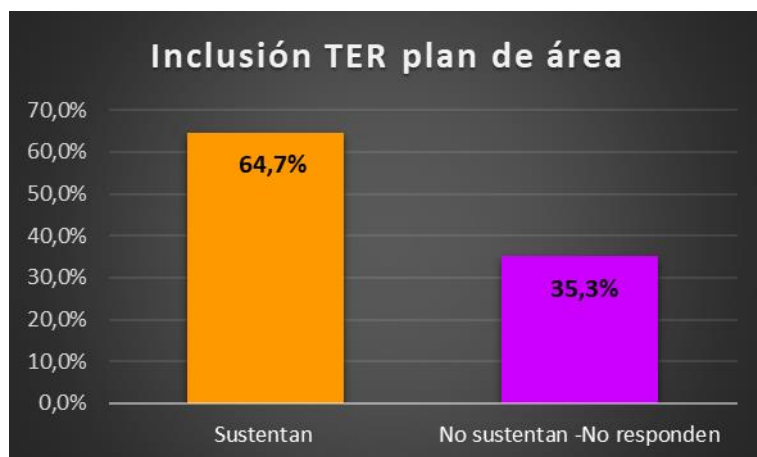
Finalmente, se encontró que hay docentes que manifestaron que sí enseñaban estos aspectos de la TER, sin embargo, no justificaron su forma de hacerlo, mientras que otros argumentaron versiones que no estaban relacionadas con lo planteado.



Gráfica 26: Respuestas a la pregunta ¿Qué aporta el experimento de Michelson y Morley en la enseñanza de la TER?

Para verificar la validez de las respuestas de los encuestados fue fundamental la revisión de artículos, textos e información de internet, comparando las respuestas con lo que realmente fue la teoría del experimento, su proceso y los resultados.

De la gráfica 26 se puede observar una posición dividida sobre los conocimientos del experimento de Michelson y Morley, dentro de quienes efectivamente tenían conocimiento sobre el tema argumentaron que este fue fundamental para eliminar la creencia de que el espacio estaba lleno por una sustancia denominada éter, a través de la cual la tierra se movía al igual que la luz; de modo similar, con esto se determinó que la velocidad de la luz en el vacío es constante y que la luz no necesita medio de propagación, finalmente que este experimento fue la base fundamental para la formulación de la TER.



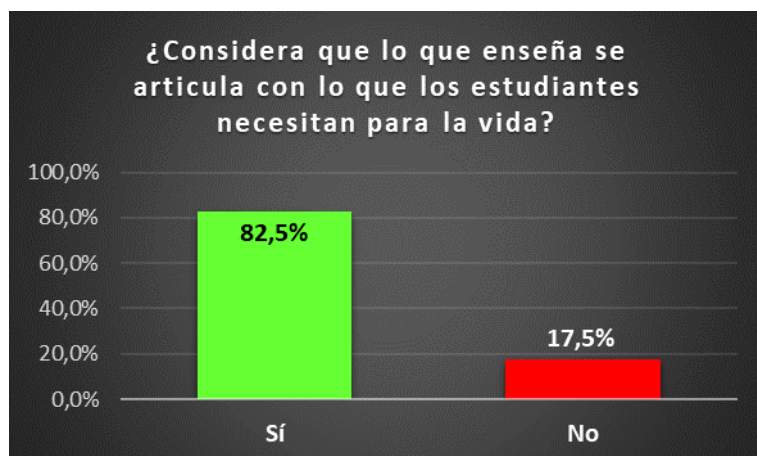
Gráfica 27: Respuestas a la pregunta ¿Qué aporta el experimento de Michelson y Morley en la enseñanza de la TER?, por parte de los que afirmaron incluir la TER en sus planes de área

Teniendo en cuenta únicamente a los docentes que afirmaron que sí incluían la TER en su plan de área, en la gráfica 27 se puede observar que el 35% no argumentaron adecuadamente, mientras que el 65% expusieron argumentos consecuentes con el experimento en mención.

➤ Para validar las respuestas de los docentes entrevistados, al interrogante, ¿Cómo trabaja con sus estudiantes una frase muy común: “Todo es relativo”? se revisaron artículos, textos e información de internet y posteriormente se compararon las respuestas con lo planteado en los documentos tenidos en cuenta.

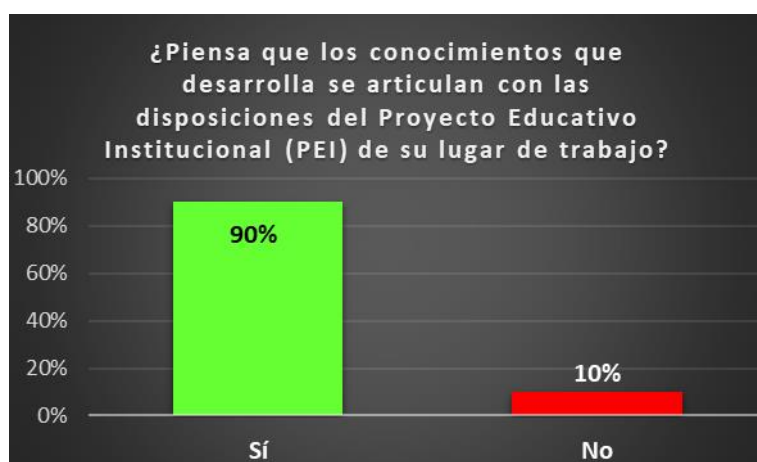
Después de la validación de las respuestas, se obtuvo que el 71% de los participantes, que sí incluían la enseñanza de la TER en su plan de área, justificaron acertadamente el proceso para explicar la frase en mención. Manifestaron que desarrollaban este trabajo planteando situaciones cotidianas, motivando la respuesta de los estudiantes de acuerdo al contexto en el que se encontraban, aclarando que cada uno de ellos podía dar su punto de vista, por ejemplo, cuando una persona transita en un bus, el cual se encuentra en movimiento relativo dependiendo del observador. Otros, que cuentan con laboratorios, recurren a la toma de medidas en diversas situaciones. El 29% de los encuestados no respondieron a la pregunta o sus respuestas no estaban relacionadas con lo planteado.

IV. Conocimiento del Contexto



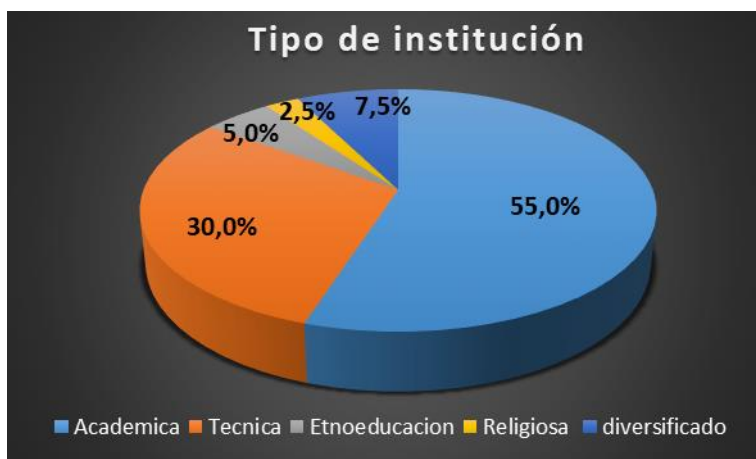
Gráfica 28: Respuestas a la pregunta: ¿Considera que lo que enseña se articula con lo que los estudiantes necesitan para la vida?

De la gráfica 28 se puede extraer que la mayoría de los encuestados consideraban que lo que enseñaba es acorde a las necesidades de sus estudiantes y su contexto, ya que con base en lo afirmado por Rivera (2004), si los temas que se quieren enseñar se relacionan con lo que ya conoce quien está aprendiendo, se logran aprendizajes significativos (Rivera, 2004).



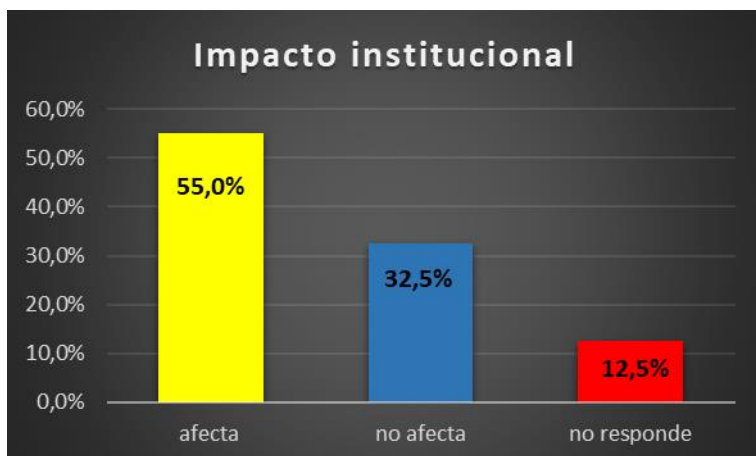
Gráfica 29: Respuestas a la pregunta: ¿Piensa que los conocimientos que desarrolla se articulan con las disposiciones del Proyecto Educativo Institucional (PEI) de su lugar de trabajo?

De la gráfica 29 se puede observar que un gran porcentaje de los entrevistados manifestó que los conocimientos que desarrollaba sí se articulaban con las disposiciones del PEI de su lugar de trabajo.



Gráfica 30: Respuestas a la pregunta: ¿En qué tipo de institución labora (académica, técnica, religiosa, etnoeducación, normalista, etc.)?

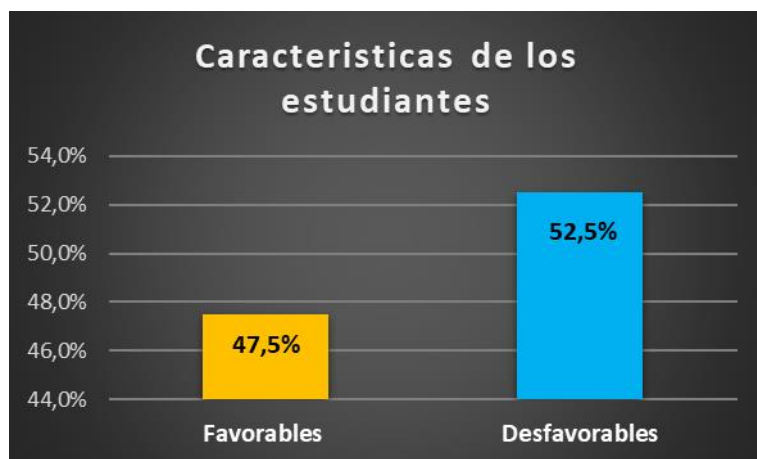
Respecto al tipo de institución en el cual laboraban los participantes de este estudio, se puede observar de la gráfica 30 que la mayoría de encuestados trabajaban en una institución de carácter académico, el segundo grupo más numeroso laboraba en colegios técnicos; por otra parte, tenemos que una menor cantidad de entrevistados ejercía en instituciones etnoeducadoras y con una tendencia religiosa, mientras que el 7,5% restante realizaba su labor en instituciones diversificadas.



Gráfica 31: Respuestas a la pregunta: ¿Cómo afecta esto su quehacer como docente?

De la gráfica 31 se concluye que la mayoría afirmó que sí le impactaba el tipo de institución en la que laboraba, quienes expresaron un impacto desfavorable argumentaron que se debían preparar las clases teniendo en cuenta la modalidad, limitaban el avance y profundización de los contenidos, se priorizaban las áreas técnicas disminuyendo la intensidad horaria a asignaturas como la física y en algunos casos los estudiantes le daban mayor relevancia a dichas

áreas y descuidaban las demás, debido entre otros motivos, a la falta de interés y porque no la incluían como un aspecto fundamental para su proyecto de vida, al mismo tiempo se carecía de espacios para la práctica y la experimentación. Los aspectos socio-económicos adversos también se consideraban una limitante y algunos maestros se sentían desmotivados por las razones ya expuestas. Por otra parte, algunos maestros se sentían afectados positivamente porque fortalecía su ejercicio docente, tenían libertad para proponer contenidos y porque les ayudaba a crecer en sus múltiples dimensiones como seres humanos.



Gráfica 32: Descripciones de manera general algunas características de los estudiantes.

La gráfica 32 se refiere a la descripción general de algunas características de los estudiantes. En este caso se clasificaron las respuestas como favorables y desfavorables. En este punto se encontró una visión dividida por parte de los docentes hacia sus estudiantes.

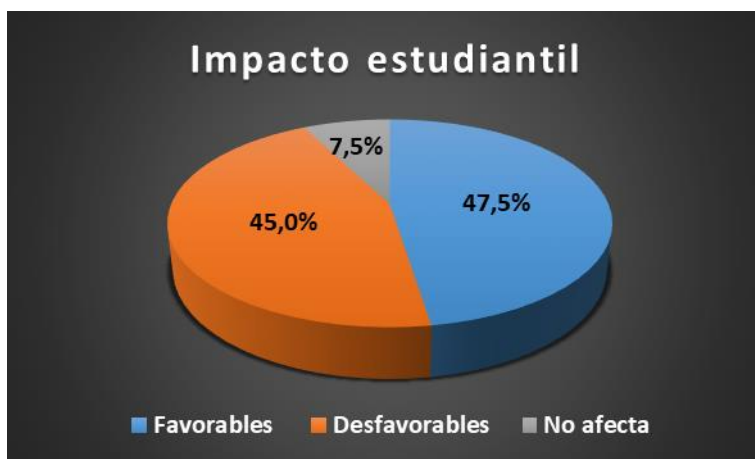
Quienes se inclinaron por las debilidades de sus alumnos manifestaron que provienen de estratos socio-económicos bajos, contextos difíciles, vulnerables, con muchas necesidades básicas insatisfechas, tienen baja motivación intrínseca para el aprendizaje, son poco interesados en adquirir conocimientos, prefieren dedicarle tiempo a otras actividades distintas al proceso educativo, tienen deficiencias en el proceso lector, carecen de curiosidad, se copian, sus proyectos de vida no se encuentran encaminados a la academia. Para superar el desinterés y el gusto por las ciencias, Pérez y Solbes (2006) declaran que hay que cambiar la forma de enseñarlas, que sean más centradas en el contexto, que se pueda observar la utilidad, que haya mayor participación por parte de los educandos, se realice más experimentación y claro está, mejores resultados en las evaluaciones (Pérez & Solbes, 2006).

Igualmente, los docentes manifestaron que sus estudiantes eran, en algunos casos, excesivamente callados, con baja autoestima, pasivos, perezosos, tenían debilidades en el

fundamento matemático. Dichas falencias, a juicio de Elizondo (2013), se presentan en los alumnos al momento de comprender problemas de física, pero se pueden superar “si se diseñan estrategias didácticas que propicien el desarrollo de la transferencia como habilidad comunicativa en la producción discursiva” (pág. 7), lo cual ayudará a mejorar la comprensión de los conceptos matemáticos presentes en los problemas de física (Elizondo, 2013).

En otros casos los maestros mencionaron que los estudiantes no contaban con el apoyo y la motivación de sus núcleos familiares, lo que impactaba negativamente en su proceso educativo, ya que como lo hacen notar Guerra, Leyva y Serrato (2019) “la familia es una instancia corresponsable en el proceso de aprendizaje cuyo apoyo e involucramiento es sustantivo para que los alumnos aprendan y permanezcan en la escuela” (Guerra & Leyva, 2019, pág. 11), de igual forma, los docentes manifestaron que muchos estudiantes se mantenían escolarizados por los subsidios estatales, algunos de los educandos se veían afectados por el consumo y distribución de sustancias psico-activas, otros eran alumnos con necesidades educativas especiales que hacían parte del proceso de inclusión, a quienes se les debía flexibilizar el currículo.

En la otra cara están los maestros que se inclinaban a describir a sus estudiantes partiendo de sus fortalezas. Entre lo que manifestaron se encontró que los consideraban entusiastas, curiosos, inteligentes, activos, dinámicos, con aspiraciones, con ganas de aprender, con motivación intrínseca por el aprendizaje, con espíritu de superación, con muchos valores, responsables, aplicados, respetuosos, activos, participativos, atentos, creativos y recursivos, disciplinados y honestos, alegres, perspicaces, resilientes, inquietos, con habilidades para el mundo digital, exigentes, que quieren aprender para la vida; los creen seres con intelectualidad y personalidad a quienes les gusta la física.



Gráfica 33: Respuestas a la pregunta: ¿Cómo influyen estas en su proceso de enseñanza?

De la gráfica 33 se puede observar que el 92,5% de los encuestados consideraban que las características de la población estudiantil atendida influían en alguna medida en su proceso de enseñanza, lo cual es coherente con lo que plantea Olaya (2015), “el principal agente multipresionante del docente es el estudiante y aunque no es éste el causante exclusivo, si tiene gran preponderancia” (Olaya, 2015, pág. 30), en tanto que el restante manifestó que dichas particularidades no impactaban sobre su quehacer docente en el aula.

Dentro de los que expresaron que las cualidades de sus alumnos afectaban su labor como maestros, el 47,5% manifestaron que esta influencia era positiva argumentando que los conducían a esforzarse y prepararse mejor cada día, a considerar al estudiante en sus múltiples dimensiones, a incrementar su gusto por la enseñanza; en algunos casos dichas particularidades sirven para encaminar a los educandos a profundizar en el área, reclama mayor esfuerzo en cuanto a la actualización para adoptar estrategias conducentes a producir clases más atractivas, amenas y significativas, a reforzar positivamente la metodología usada y, lo mismo que las estrategias motivadoras a nivel extrínseco e intrínseco, sirven como un desafío particular a nivel pedagógico.

Por otra parte, el 45% de los encuestados expresó que los rasgos de sus alumnos incidían de manera poco favorable, ya que había demasiadas complicaciones en el proceso de aprendizaje, puesto que la dedicación por parte de los estudiantes era casi nula, se evidenciaba desinterés, no se podía avanzar, ni tampoco profundizar en los temas, ni desarrollar las competencias científicas básicas establecidas; el conformismo y la mediocridad estudiantil provocaban desánimo, preocupación, estrés y exigían un mayor desgaste físico y mental a los maestros. El nivel de exigencia se ubicaba dentro de lo básico debido a los proyectos de vida de los estudiantes y sus bajas expectativas para continuar estudios universitarios, no había apropiación del proceso

educativo ya que era más importante el cartón de bachiller que lo aprendido. En algunos casos se requería apoyo psico-social.

CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación presentada se puede concluir que:

- Los análisis de las referencias bibliográficas que fueron la base para el marco teórico de la Teoría Especial de la Relatividad permitieron vislumbrar que en algunos de ellos todavía se presentan errores conceptuales referentes a la masa dentro de esta teoría, en los trabajos de Rojo (Rojo, 2018, pág. 10), Villaseñor (Villaseñor, 2013, pág. 56) y Hacyan (Hacyan, 2012, pág. 18) se hace referencia a una masa relativista, que cambia con la velocidad, lo cual es incorrecto, ya que la masa es invariante e independiente del estado de movimiento del sistema de referencia y del objeto.
- Desde el punto de vista de la inclusión de la TER en la educación media se enfatiza que el 75% de los encuestados están a favor, ya que esta proporciona una visión más amplia de la ciencia y despierta la curiosidad en los estudiantes porque está directamente relacionada con los avances tecnológicos presentes y futuros. Sin embargo, el 42,5% de los entrevistados incluye efectivamente dicha temática en sus planes de área, lo cual, siendo una buena base, todavía es muy poco considerando las exigencias tecnocientíficas actuales.
- Los Estándares Básicos de Competencias y los DBA en ciencias naturales propuestos por el MEN para la enseñanza de la física en los grados décimo y undécimo, no señalan ni promueven la enseñanza de la Teoría Especial de la Relatividad.
- La mayor parte de los docentes que imparten la asignatura de física son del género masculino representados por el 82,5%, lo cual marca una tendencia de alejamiento por parte de las mujeres hacia carreras relacionadas con la física, entrando en sintonía con los estudios referenciados por Solbes, Monserrat y Furió (2007) y Manassero y Alonso (2003), quienes postulan que la deserción de las mujeres en este tipo de carreras se debe, entre otras causas, a la imagen y valoración negativa de estas, al sesgo androcéntrico y de género en la ciencia, los estereotipos sociales y otros.
- La mayoría de la población encuestada se agrupa en el rango de edad cercano a los 45 años, representados por un 67,5%, lo cual permite clasificar al magisterio encargado de la asignatura de física como una población adulta aún joven.
- Respecto al Conocimiento Didáctico General es posible concluir que el 77,5% de los encuestados contó con una preparación en este aspecto durante su formación profesional, bien sea en pregrado o posgrado, lo cual les ha permitido afrontar su trabajo de una manera adecuada e

igualmente se refleja en la confianza que tienen para desempeñar su labor. No obstante, es preciso tener en cuenta al 22,5% de los docentes que ejercen sin contar con dicha formación, lo cual no deja de ser un dato elocuente.

➤ Con relación al Conocimiento del Contenido se puede decir que el 65% de los entrevistados realizaron estudios referentes a la física. Por su parte el 35% no tiene una preparación con respecto a dicha área, porcentaje considerable de maestros que tienen bajo su responsabilidad impartir la asignatura de física y no poseen un conocimiento de la naturaleza de la ciencia como lo denomina Acevedo (2009).

➤ Considerando el Conocimiento Didáctico del Contenido se establece que el 45% de los docentes que contestaron la encuesta contaban con una formación en este campo. Por su parte el 55% los maestros que imparten la asignatura de física no cuenta con el CDC para desarrollar su trabajo, dato inquietante teniendo en cuenta que todos los docentes deberían contar con dicho conocimiento, independientemente del área en la que se desempeñen.

➤ Con relación al conocimiento contextual se puede concluir que los docentes encuestados conocen los entornos en los cuales llevan a cabo su trabajo. Cabe subrayar que algunos consideran que su institución o sus estudiantes no impactan su quehacer, lo cual no sería coherente porque el contexto necesariamente debe permear la labor docente.

➤ Con respecto a la hipótesis se puede concluir que el 42,5% de los docentes de Física del Departamento de Nariño que participaron en esta investigación sí enseñan la Teoría Especial de la Relatividad, una cifra significativa teniendo en cuenta que en principio se señaló que no se tenía en cuenta la TER en los currículos de la educación básica y media o esta era enseñada con limitaciones. Además, sin olvidar que dentro de los documentos emitidos por el Ministerio de Educación Nacional se omiten estos contenidos, lo cual indica que algunos docentes hacen uso de su libertad de cátedra, se preocupan y buscan enseñar temas afines a los avances en su área y no se conforman con lo exigido por el MEN.

No obstante, los docentes manifestaron que se evidencian limitaciones en este proceso, tales como:

✓ En un par de casos los argumentos de los docentes fueron inconsistentes y no correspondían a las temáticas que usualmente se enseñan en la TER.

✓ La TER no está incluida en los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales, ni tampoco en los DBA.

- ✓ La asignación académica en horas es muy escasa para esta asignatura.
- ✓ Lo que se evalúa en las Pruebas Saber 11 no incluye la TER.
- ✓ Se priorizan los temas que se evalúan en las pruebas estandarizadas para la educación media.
- ✓ Que un grupo de encuestados expresó un imaginario negativo sobre los estudiantes: falta de interés, predisposición y prejuicios sobre el tema.
- ✓ Hay debilidades en la conectividad a internet y carencia de laboratorios en muchas instituciones para hacer que los estudiantes sean protagonistas de su propio progreso.
- ✓ Insuficiencias en la fundamentación matemática y lectoescritora en los educandos.
- ✓ Complejidad de la temática para los estudiantes del nivel de secundaria.
- ✓ Dificultades para la contextualización y adaptación de contenidos por parte de algunos participantes.
- ✓ Dificultades para la consecución de material didáctico y de apoyo para el proceso de enseñanza.
- El Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) es un concepto complejo integrado fundamentalmente por cuatro aspectos que los docentes deberían dominar para ejercer su labor de manera competente y que son: el Conocimiento Didáctico General, el Conocimiento del Contenido, el Conocimiento Didáctico del Contenido y el Conocimiento del Contexto. Estos elementos se deben conjugar de manera armónica y equilibrada en la praxis del aula con el objetivo esencial de tomar el conocimiento científico, adecuarlo, procesarlo y organizarlo de tal forma que esté al alcance de los estudiantes. Teniendo como base los resultados obtenidos en el presente estudio se puede concluir que hay una intención de enseñar la TER por parte de los encuestados, pero en este primer avance investigativo no se encontraron las evidencias suficientes para determinar que se está abordando la enseñanza de este tema con el enfoque complejo y sistémico que requiere.

RECOMENDACIONES

- ✓ En un estudio posterior indagar sobre porque lo que se enseña es considerado como significativo o no para los estudiantes.
- ✓ En un eventual estudio analizar la justificación del porque lo enseñado este articulado o no con el PEI.
- ✓ Replicar un estudio similar aplicando la encuesta en el sitio de trabajo, de manera presencial.
- ✓ Realizar una investigación equivalente en las entidades territoriales certificadas de Ipiales, Tumaco y Pasto.
- ✓ Hacer un estudio análogo en las instituciones educativas de carácter privado, tanto en el departamento como en las otras entidades territoriales certificadas.
- ✓ Replicar una investigación parecida utilizando los instrumentos de recolección del CDC diseñados por Loughran, Milroy, Berry, Gunstone y Mulhall (2001) denominados CoRe (Content Representation) y PaP-eRs (Professional and Pedagogical Experience Repertoires).
- ✓ Para un estudio posterior se podría tener en cuenta la posibilidad de la elaboración y aplicación de una secuencia didáctica para la enseñanza de la TER en la educación media en el Departamento de Nariño.

REFERENCIAS

- Acevedo, A. J. (2009). *Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia*. Eureka Enseñ. Divul. Cien., 6 (1), 21-46.
- Aloy, M. R. (Mayo de 2017). *Incorporación de la Física Contemporánea en el nivel medio de la educación formal*. (Tesis maestría), Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina.
- Ardila, J. C., & Arroyave, V. E. (2012). *Reflexiones sobre la didáctica en física desde los laboratorios y el uso de las TIC*. Revista Virtual Universidad Católica del Norte, 35, 105-127.
- Arriasecq, I., & Greca, I. (2004). *Enseñanza de la teoría de la relatividad especial en el ciclo polimodal: dificultades manifestadas por los docentes y textos de uso habitual*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 3 (2), 211-227.
- Azuaga, T. (2008). *Didáctica de la física e innovación en el aula*. Góndola, Vol. 3. No. 2, 6-15.
- Barnett, J., & Hodson, D. (2001). *Pedagogical Content Knowledge: Toward a Fuller Understanding of What Good Science Teachers Know*. Science Education, 85, 426-453.
- Baxter, J. A., & Lederman, N. G. (1999). *Assessment and Measurement of Pedagogical Content Knowledge*, en Gess-Newsome, J., Lederman, N. G. *Examining Pedagogical Content Knowledge*. Kluwer Academic Publishers., 147-162.
- Benavides, D. C., Bolaños, Y., Portilla, L. J., & Riascos, L. A. (2014). *Estrategia didáctica basada en la indagación para la enseñanza de las ciencias naturales y la educación ambiental, que promueva el desarrollo de competencias científicas en los estudiantes de grado quinto-dos de la I. E. M. Liceo Central de Nariño sede 3*. (Tesis pregrado), Universidad de Nariño. Pasto, Nariño, Colombia.
- Bertram, A. (2012). *“CoRes and PaP-eRs as a strategy for helping beginning primary teachers develop their pedagogical content knowledge”*. Research in Science Education, 42 (6), 1027-1047.
- Bisquerra, R., & Alzina, R. B. (2004). *Metodología de la investigación educativa, 1*. Madrid: Editorial La Muralla.
- Buitrago, A. M. (4 de Septiembre de 2019). *Es tiempo de enseñar física moderna en los colegios*. Obtenido de El mundo.com: <https://www.elmundo.com/noticia/-Es-tiempo-de-ensenar-fisica-moderna-en-los-colegios-/377511>

- Calles, M., & Lozano, Y. (2014). *Relación entre las pruebas saber 11° y las concepciones y prácticas evaluativas de los docentes de educación media del área lenguaje de la escuela normal superior de ibagué*. (Tesis maestría), Universidad del Tolima. Ibagué, Tolima, Colombia.
- Camargo, M., Calvo, G., Franco, M., Vergara, M., Londoño, S., Zapata, F., & C., G. (2004). *Las necesidades de formación permanente del docente*. Educación y educadores, 7, 79-112.
- Carlsen, W. (. (1999). *Domains of teacher knowledge*, en Gess-Newsome, J., Lederman, N. G. (1999) *Examining Pedagogical Content Knowledge*. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 6, 133-146.
- De Jong, O., Korthagen, F., & Wubbels, T. (1998). *Research on Science Teacher Education in Europe*, en FRASER, B. J. y TOBIN, K. G. (1998) *International Handbook of Science Education*. Kluwer: Great Britain, 2, 745-758.
- Del Pozo, C. (2017). *Propuesta de seminario de física moderna para estudiantes de bachillerato*. (Tesis maestría), Universidad de la Rioja. España.
- Elizondo, M. (2013). *Dificultades en el proceso enseñanza aprendizaje de la física*. Presencia universitaria, 5, 70-77.
- Fernández, P. E. (27 de Febrero de 2014). *Teorías y modelos en la enseñanza -aprendizaje de la Física Moderna*. (Tesis de doctorado), Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Galvis, L. A. (2019). *Enseñanza de la teoría especial de la relatividad sobre los conceptos de espacio y tiempo para potenciar habilidades de pensamiento crítico en estudiantes de grado décimo de la institución Antonia Santos del municipio de Valencia – Córdoba*. (Tesis maestría), Universidad Autónoma de Manizales. Manizales, Colombia.
- García, M., & Janenine, E. (2003). *Introducción a la física moderna*. Bogotá: Unibiblos, Tercera edición.
- Gobernación de Nariño. (2 de Enero de 2020). *Departamento de Nariño*. Obtenido de <https://xn--nario-rta.gov.co/index.php/departamento/historia>
- Gonzales, J. (20 de 7 de 2021). *Studylib*. Obtenido de Experimento de michelson-morley: <https://studylib.es/doc/5759666/experimento-de-michelson-morley>
- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher: teacher knowledge and teacher education*. New York: Teacher College Press.

- Guerra, M., & Leyva, Y. S. (2019). *Factores contextuales que afectan la práctica docente desde la perspectiva de docentes en México*. Creative Commons, 49 (extra 1), 137 -149.
- Hacyan, S. (2012). *Teoría de la relatividad para principiantes*. Obtenido de <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/078/htm/relativ.htm>
- Hueso, A., & Cascant, J. (2012). *Metodología y técnicas cuantitativas de investigación*. Valencia: Universidad politecnica de Valencia.
- Janssen, B. (2012). *La invariancia de la masa en relatividad especial*. Universidad de Granada.
- Landau, L. D., & Lifshitz, E. M. (1992). *El principio de la relatividad. En Física teórica. Teoría clásica de los campos*. (págs. 1-32). Barcelona: Reverté, S. A. Vol 2. (2).
- Landau, Y. (1996). *Que es la teoría de la relatividad*. Moscu: MIR, Moscu.
- Lanzas, M., & Cobos, R. (28 de 10 de 2004). *Relatividad Especial para Bachillerato*. Obtenido de http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/24092013/8e/es-an_2013092412_9141319/NDOIAND-20080317-0001/especialbachillerato.html
- Loughran, J. J., Milroy, P., Berry, A., Gunstone, R., & Mulhall, P. (2001). *Documentating Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Through PaP-eRs*. Journal of Research in Science Education, 31, 289-307.
- Loughran, J., Mulhall, P., & Berry, A. (2004). *In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documentating Professional Practice*. Journal of Research in Science Teaching, 41 (4), . , 370-391.
- Macias, C. (2014). *La experimentación mental en la formación de maestros de ciencias: Una alternativa para la enseñanza de la física moderna en la escuela*. (Tesis pregrado), Universidad de Antioquia. Medellin, Colombia.
- Manassero, M., & Alonso, Á. V. (2003). *Los estudios de género y la enseñanza de las ciencias*. Revista de Educación, 330, 251-280.
- Martínez, C. A., & Valbuena, E. (Diciembre de 2013). *El conocimiento profesional de los (as) profesores (as) de ciencias: algunos aspectos centrales en el desarrollo de la línea de investigación*. Bogotá: ÉNFASIS, Doctorado Interinstitucional en Educación DIE.
- Martínez, E., & Sánchez, S. (2020). *Paulo Freire, Pedagogo de los oprimidos y transmisor de la pedagogía de la esperanza*. Obtenido de http://educomunicacion.es/figuraspedagogia/0_paulo_freire.htm
- Martínez, M. (2006). *La nueva ciencia. Su desafío, lógica y método*. Mexico, Mexico: Trillas.

- Medina, A., & Salvador, F. (2009). *Didáctica general*. Madrid: Pearson Educación.
- MEN-Ascofade, C. d. (2004). *Guía N°7: Estándares Básicos de Competencias en ciencias naturales y ciencias sociales. Formar en ciencias ¡el desafío!* Bogota, Colombia: Cargraphics S.A.
- Moore, M. (2018). *El Éxito Educativo de Finlandia*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=2HGu5zyq5yI>
- Moreira, M. (2012). *Aprendizaje significativo, campos conceptuales y pedagogía de la autonomía: implicaciones para la enseñanza*. *Meaningful Learning Review* , 2(1), , 44-65.
- Muñoz, Z. (2020). *Enseñanza de la estructura atómica de la materia en la educación secundaria en Colombia*. (Tesis doctoral), Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.
- Muñoz, Z., Ramos, G., & Marmolejo, G. (2019). *Teoría de la relatividad perspectivas docentes sobre su enseñanza*. (Presidencia). 1er. Congreso Internacional en Educación y Formación de Educadores. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.
- Nieva, J., & Martínez, O. (2016). *Una nueva mirada sobre la formación docente*. *Universidad y Sociedad*, 8(4), 14 -21.
- Oficina de planeación educativa. (Mayo de 2018). *Plan participativo de desarrollo departamental*. Boletín estadístico 2012-2017 secretaría de educación departamental de Nariño. Pasto, Nariño, Colombia.
- Olaya, C. (2015). *Síndrome de burnout o síndrome de agotamiento profesional (sap) en el trabajo de los docentes distritales de la localidad de Usme*. (Tesis maestría), Universidad Militar Nueva Granada. Bogota, Colombia.
- Ospina, W. (septiembre de 2010). *Preguntas para una nueva educación*. Congreso iberoamericano de educación METAS 2021. Buenos Aires, Argentina.
- Ostermann, F., & Moreira, M. (2000). *Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores*. *Enseñanza de las ciencias*, 18 (3), 391-404.
- Parra, H., & Santos, R. (Julio de 2014). *Actitud de los estudiantes hacia el aprendizaje de la física en el tercer año de educación media general*. (Tesis pregrado), Universidad de Carabobo. Naganagua, Naganagua, Venezuela.

- Pérez, A. (2019). *Conocimientos previos e intervención docente*. Acta educativa, 19, 1 -30.
- Pérez, H. (2003). *La teoría de la relatividad y su didáctica en el bachillerato: analisis de difilcultades y una propuesta de tratamiento*. (Tesis doctoral), Universidad de Valencia. Valencia, España.
- Pérez, H., & Solbes, J. (2003). *Algunos problemas en la enseñanza de la relatividad*. Enseñanza de las ciencias, 21(1), 135-146.
- Pérez, H., & Solbes, J. (2006). *Una propuesta sobre enseñanza de la relatividad en el bachillerato como motivación para el aprendizaje de la física*. Enseñanza de las ciencias, 24(2), 269–284.
- Pérez, J., & Merino, M. (2015). *Definición de proceso educativo*. Obtenido de <https://definicion.de/proceso-educativo/>
- Pérez, L. (2017). *La participación de los estudiantes en una escuela secundaria: retos y posibilidades para la formación ciudadana*. Revista mexicana de investigación educativa, 22(72), 179-207.
- Pole, K. .. (2009). *Diseño de metodologías mixtas. Una revisión de las estrategias para combinar metodologías cuantitativas y cualitativas*. Guadalajara.: Renglones, revista arbitrada en ciencias sociales y humanidades.
- Portilla, L. (2011). *Factores asociados a la deserción estudiantil en la carrera de física de la Universidad de Nariño, departamento de física*. (Tesis especialización), Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.
- Prodanoff, F. (2015). *Enseñanza de nociones básicas de la Teoría Especial de la Relatividad (TER) en la Escuela Secundaria*. (Tesis doctoral), Universidad Nacional del centro de la provincia de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- Ré, M. A., Arena, L. E., & Giubergia, M. F. (2012). *Incorporación de TICs a la enseñanza de la Física. Laboratorios virtuales basados en simulación*. Revista Iberoamericana de Educación en Tecnología y Tecnología en Educación, 8, 16-22.
- Redondo, C. M. (2005). *Enseñanza de la física y la química en Europa: análisis comparativo de los sistemas educativos*. En s. d. Madrid, Didactica de la fisica y la quimica en los distintos niveles educativos (págs. 15-23). Madrid: Gabriel Pinto Cañon.
- Rivera, J. (2004). *El aprendizaje significativo y la evaluacion de los aprendizajes*. Revista de investigación educativa, 14, 47-52.

- Rodríguez, J. (2017). *CienTific*. Obtenido de La paradoja de los gemelos: <http://cientificoficial.blogspot.com/2017/11/la-paradoja-de-los-gemelos-paradoja-de.html>
- Rojo, J. (2018). 2° de Bachillerato, *Física Relativista*, . Obtenido de DOCPLAYER: <https://docplayer.es/60710365-2-o-bachillerato-fisica-relativista-prof-jorge-rojo-carrascosa.html>
- Shulman, L. (1986). *Knowledge and Teaching: foundations of the New Reform*. Harvard Educational Review, 57 (1), 1-22.
- Shulman, L. (1986). *Those who understand: knowledge growth in teaching*. Educational Researcher, 15(2), 4-14.
- Solbes, J. (2013). *¿Física contemporánea o física?*. Didáctica de las Ciencias Experimentales, 75, 9-17.
- Solbes, J., Botella, F., Pérez, H., & Tarín, F. (2002). *Algunas consideraciones sobre la masa, (o masa no hay mas que una)*. Revista Española de Física 16 (1), 47-50.
- Solbes, J., Montserrat, R., & Furió, C. (2007). *El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza*. Didáctica de las ciencias experimentales y sociales, 21, 91 - 117.
- Solbes, J., Muñoz, Z., & Ramos, G. (2019). *Enseñanza de la estructura atómica de la materia en Colombia*. Revista Historia De La Educación Colombiana, 22(22), 117-140, <https://doi.org/10.22267/rhec.192222.54>.
- Takeuchi, T. (2010). *An Illustrated Guide to Relativity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Talanquer, V. (2004.). *Formación docente: ¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química?* . Educación Química, 15 (1)., 52-58.
- Tarín, F. (Enero de 2000). *El principio de conservación de la energía y sus implicaciones didácticas*. (Tesis doctoral), Universidad de Valencia. Valencia, España.
- Torres, G. A. (2018). *Diseño de una unidad de enseñanza potencialmente significativa para introducir la mecánica cuántica en la educación básica secundaria*. (Tesis maestría), Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- UDEA, & MEN. (2016). *Derechos básicos de aprendizaje-ciencias naturales*. Colombia: Panamericana Formas E Impresos S.A.
- Valbuena, E. O. (2007). *El conocimiento didáctico del contenido biológico: estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros docentes de la universidad pedagógica*

nacional (Colombia). (Memoria doctoral), Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.

Valero, M. (1977). *Física 2*. Bogotá, Colombia: Norma.

Villareal, M., Lobo, H., Gutierrez, G., Briceño, J., Rosario, J., & Diaz, J. (2005). *La enseñanza de la física frente al nuevo milenio*. 02Academia, 1-4.

Villaseñor, M. (2013). *Fascículo 4: Teoría de la relatividad especial*. En C. d. bachilleres, *Física moderna I*. Ciudad de México: Colegio de bachilleres .

Wolff, J. F., & Mors, P. M. (2005). *Relatividade : a passagem do enfoque galileano para a visão*. Textos de Apoio ao Professor de Física editores: Marco Antonio Moreira, Eliane Angela Veit - Vol. 16, n. 5.

Zapata, J. (2016). *Contexto en la enseñanza de las ciencias: análisis al contexto en la enseñanza de la física*. Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias, 11(2), 193-211.