

## Práctica pedagógica en mecánica relativista: enfoques, estrategias y su impacto educativo

### Pedagogical practice in relativistic mechanics: approaches, strategies, and their educational impact

 **Cliffor Jerry Herrera-Castrillo<sup>1</sup>**  
[cliffor.herrera@unan.edu.ni](mailto:cliffor.herrera@unan.edu.ni)

*Fecha de Recepción:* 27-01-2024

*Fecha de Aprobación:* 04-03-2024

#### RESUMEN

El artículo se centra en los enfoques y estrategias utilizados en la enseñanza de la Mecánica Relativista y su impacto en el aprendizaje de los estudiantes. El estudio se llevó a cabo con 29 estudiantes de cuarto año de la carrera de Física-Matemática en la UNAN-Managua, CUR-Estelí. Se utilizó una metodología mixta que combinó métodos cuantitativos y cualitativos para recopilar y analizar datos. Los resultados mostraron que la implementación de prácticas pedagógicas referente a la experimentación, vinculación de la teoría con la práctica, resultan efectivas y tienen impacto positivo en el aprendizaje de los estudiantes, mejorando su comprensión de los conceptos relativistas y la capacidad para aplicarlos. Las estrategias más efectivas incluyeron la contextualización, el uso de analogías, representaciones visuales, experimentos mentales y resolución de problemas, las cuales, al incluirse en las actividades de aprendizaje, dan excelentes resultados. Estas estrategias promovieron la comprensión profunda, el pensamiento crítico y el interés de los estudiantes en la física. En conclusión, el estudio destaca la importancia de implementar prácticas pedagógicas adecuadas en la enseñanza de la Mecánica Relativista para mejorar el aprendizaje de los estudiantes y fomentar su interés en el campo.

**Palabras claves:** Práctica pedagógica, Mecánica, enfoque científico, estrategias educativas.

#### ABSTRACT

The article focuses on the approaches and strategies used in the teaching of Relativistic Mechanics and their impact on student learning. The study was carried out with 29 students from the fourth year of the Mathematical-Physics Major at UNAN-Managua, RUC-Estelí. A mixed methods research combining quantitative and qualitative methods was used to collect and analyze data. The results showed that the implementation of pedagogical practices referring to experimentation, linking theory with practice, is effective and has a positive impact on students' learning, improving their understanding of relativistic concepts and the ability to apply them. The most effective strategies included contextualization, the use of analogies, visual representations, mental experiments and problem solving, which, when included in learning activities, yield excellent results. These strategies promoted students' deep understanding, critical thinking and interest in Physics. In conclusion, the study highlights the importance of

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Centro Universitario Regional de Estelí. Estelí, Nicaragua.



implementing adequate pedagogical practices in the teaching of Relativistic Mechanics to improve students' learning and foster their interest in the field.

**Keywords:** Pedagogical practice, mechanics, scientific approach, educational strategies.

## BILA PRAHNIRA AISANKA

Naha ulbanka na ai lukanka mangkan sa kaikanka nani ra bara wark sat sat nani Mecanica Relativista maki ba marikanka ra baku sin stadi tatakra nani lan takanka ra bilara nikbanka ba. Staditakanka na daukan kan 29 stadi tatakra nani Fisica-Matematica carrera ka cuarto año UNAN-Managua CUR-Esteli ra. Warktakanka natka ba satsat sa, kan miks munan sa kulkaia bilka nani bara kulkaia apia bilka nani wal sturi nani wahbaia bara iwi luki laki kakaia ba dukiara. Latan marikan sa skul smalkaia praktis ka ba paski staditaki lakikaikanka wal, ulbismalkanka bara praktis ra mangki pyuara, kau pali aihwa sa baku sin skultuktan nani lantakanka ra kau yamni sa, baku natkara kau ai tanka brisa dia va relativista marikanka ba bara sin nahki natkara alki daukaia ba. Natka nani kau yamni ba tilara dingkan sa kakaira taki wal yamni warktakanka ba, simsat bilka nani wal, nakra wal kaiki bilka nani, sinska paski stadi taki lakikaikanka bara sin trabil nani wapni daukanka ba, kan baha nani sika, skul lantakanka tilara dingki pyuara, kasak kau ma yamni sakisa. Naha natka nani wal kau tanka tihu ra briaia ba marikansa, lukikaiki wal diara daukaia bara sin física ra kau lihkanka bribia staditatakra nani ba mihta. Naha staditakanka ra baksaki marikansa smalkaia natka bilka nani kau yamni ba Mecanica Relativista smalkanka ra baku natkara sip kabia tuktan nani ba kau pain lan takaia bara sin ai sinska mangakaia naha sins ka laka bilkara.

**Baksakan bila nani:** Skul smalkanka praktis ka, mecánica, sinlaka kaikanka, smalkanka warkka nani

**Para citar en APA:** Herrera-Castrillo, C. J. (2024). Práctica pedagógica en mecánica relativista: enfoques, estrategias y su impacto educativo. *Wani*, (80), 4-22. <https://doi.org/10.5377/wani.v40i80.17642>

## INTRODUCCIÓN

La práctica pedagógica en Mecánica Relativista se refiere a las metodologías, enfoques y estrategias utilizadas para enseñar este campo de la física a los estudiantes. La Mecánica Relativista es una teoría física que describe el movimiento de objetos a velocidades cercanas a la velocidad de la luz y cómo afecta a la geometría del espacio y al tiempo. Debido a su complejidad, la enseñanza de la Mecánica Relativista puede presentar desafíos particulares. La física brinda la oportunidad de cultivar habilidades analíticas, interpretativas y de síntesis a través del estudio de conocimientos científicos, metodológicos e investigativos relacionados con la ciencia física (Herrera Castrillo, 2020).

La Mecánica Relativista, desarrollada por Albert Einstein en el siglo XX, describe el movimiento de objetos a velocidades cercanas a la velocidad de la luz y tiene implicaciones profundas en nuestra comprensión del espacio y el tiempo (Barbero, 2015). Sin embargo, su enseñanza ha sido identificada como un desafío debido a su naturaleza abstracta y contraintuitiva, por ello el objetivo de este artículo es analizar los enfoques y estrategias utilizados en la enseñanza de la Mecánica Relativista y su impacto en el aprendizaje de los estudiantes.



La justificación de este estudio radica en la necesidad de mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la Mecánica Relativista. Un dominio sólido de estos conceptos es fundamental para los estudiantes de física y ciencias afines, así como para su desarrollo científico y tecnológico.

Para Agudelo Carvajal et al., (2011) en el contexto del aula de clase, donde se lleva a cabo el proceso de enseñanza y aprendizaje, es fundamental que los maestros utilicen prácticas pedagógicas que contribuyan a la formación de los estudiantes y a la adquisición de conocimientos a través de interacciones generadas en clase. Estas prácticas pedagógicas implican tomar decisiones sobre cómo guiar el aprendizaje de los estudiantes y presentarles conocimientos considerados importantes, posiblemente basados en concepciones específicas sobre un tema en particular. Es importante cuestionar y analizar las prácticas pedagógicas que caracterizan la educación en el país y las concepciones subyacentes a estas prácticas. Este ejercicio analítico permite darle un nuevo significado al trabajo pedagógico y mejorar las propuestas educativas, las cuales serán llevadas a la UNAN-Managua, CUR-Estelí y pueden servir a todas las instituciones de educación superior y las carreras donde se facilite el curso de mecánica relativista.

La práctica pedagógica descrita en este artículo consistió en 8 encuentros en un curso de Mecánica Relativista con estudiantes de IV año de la carrera de Física-Matemática. Durante estos encuentros se abordaron tres temáticas principales.

Como plantean Payan et al. (2019) el curso de mecánica relativista abarca tres temas principales: los antecedentes experimentales de la Teoría Especial de la Relatividad, la cinemática y la dinámica relativistas. Se exploraron aspectos históricos, conceptuales y matemáticos relacionados con la teoría, como las modificaciones en la estructura espacio-tiempo, los principios de transformación y las modificaciones en los conceptos físicos fundamentales. El objetivo era proporcionar a los estudiantes una comprensión sólida de los fundamentos de la mecánica relativista. En la figura 1 se muestran unidades y objetivos de la asignatura antes mencionada.

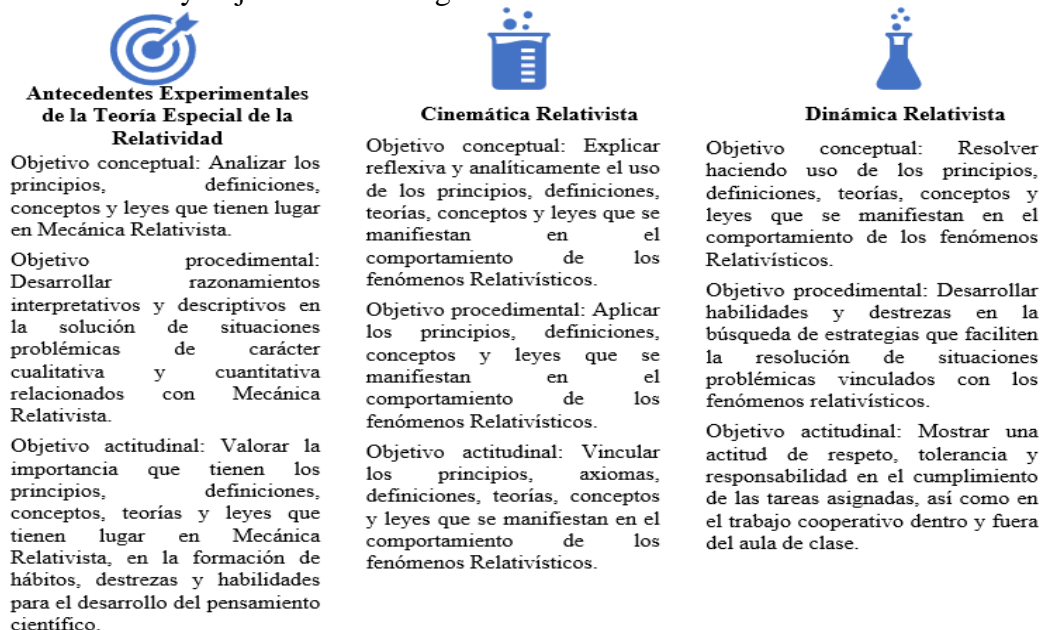


Figura 1. Unidades y objetivos en el curso de Mecánica Relativista

Los requisitos matemáticos para el curso de mecánica relativista incluyen un sólido dominio del cálculo diferencial e integral, así como del cálculo vectorial. Además, se requiere conocimiento en álgebra lineal para comprender conceptos como espacios vectoriales y transformaciones lineales. Es fundamental tener habilidades en la resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales, así como en el análisis matemático, que proporciona las bases teóricas necesarias. Por último, se valora la familiaridad con la geometría diferencial, que se utiliza en la mecánica relativista para estudiar las propiedades geométricas de las variedades diferenciables.

Además, es fundamental mencionar que en el plan de estudios del curso de mecánica relativista se recomienda como bibliografía fundamental los siguientes textos: *Introducción a la Teoría Especial de la Relatividad*, de Resnick (1977); *Conceptos de Relatividad y Teoría Cuántica*, de Resnick (1990); *Física universitaria, con física moderna Volumen II*, de Young et al. (2009); *Física para ciencias e ingeniería con Física Moderna Volumen II*, de Serway y Jewett (2009) y *Física para la Ciencia y la Tecnología Volumen II*, de Tipler y Mosca (2010). Asimismo, se sugiere como bibliografía complementaria el libro *Campos y Ondas. Física Volumen II*, de Alonso y Finn (1999) y *Física para Ciencias e Ingeniería 2*, de Mckelvey y Groth (1999). Estos recursos bibliográficos brindan una base sólida para el estudio y comprensión de los conceptos relacionados con la mecánica relativista.

Los antecedentes actuales proporcionan una base sólida para la investigación sobre prácticas pedagógicas en Mecánica Relativista. Estudios previos han explorado enfoques y estrategias pedagógicas efectivas, como la contextualización, el uso de analogías y la resolución de problemas, para mejorar la comprensión de los estudiantes. Además, se han destacado la importancia de las representaciones visuales y los experimentos mentales en la enseñanza de esta teoría, entre ellos se encuentran:

En un estudio realizado por Ulazia Manterola (2015), se examinó el razonamiento analógico en la mecánica de fluidos y se propusieron estrategias pedagógicas efectivas. Se destacó la importancia de las analogías como recursos creativos y explicativos en la modelización del problema. Por otro lado, Manrique Lagos (2017) investigó las prácticas pedagógicas de profesores universitarios en la enseñanza de la física, identificando estrategias utilizadas para ayudar a los estudiantes a comprender los contenidos del curso. Arriasecq et al. (2016) investigaron las dificultades que enfrentan los docentes al enseñar la Teoría Especial de la Relatividad en la escuela secundaria colombiana, señalando la falta de construcción de conceptos significativos de mecánica clásica como la principal dificultad para los alumnos. Por su parte, el estudio de Pardo Ariza (2021) analizó el espacio-tiempo como elemento clave para la enseñanza de la teoría especial de la relatividad, considerando factores filosóficos, históricos, físicos y pedagógicos.

En Nicaragua, la mecánica relativista se ha mencionado únicamente dos veces, la primera desde el punto de vista poético por Cheguhem Riani (2022) en el estudio: Las partículas de la finitud: aportaciones de la física al pensamiento ecológico en *Cántico cósmico*, de Ernesto Cardenal, donde se escudriña la astrofísica, la mecánica cuántica y la relatividad general, que da un pensamiento mecanicista y autómatas de la modernidad. La segunda en la Revista de temas nicaragüenses, donde Cuevas (2017) explica la relatividad general, comenzando con La ley de la Inercia enunciada por Isaac Newton, establece que un objeto en reposo tiende a permanecer en reposo, mientras que un

objeto en movimiento tiende a mantener su velocidad y dirección a menos que una fuerza externa actúe sobre él.

Después de realizar una revisión bibliográfica, se evidencia la relevancia de adoptar enfoques multidisciplinarios y actualizados en la enseñanza de la ciencia, lo cual constituye el estado actual de la temática en estudio. Esta investigación reviste una gran importancia, especialmente porque se centra en un campo poco explorado y de naturaleza altamente abstracta. Además, el enfoque innovador de este estudio radica en uno de sus propósitos de indagar la opinión del estudiante frente a propuestas de cambio en los métodos de aprendizaje de la asignatura, lo que implica una validación donde el estudiante es el protagonista principal. Como indican Castillo-Castillo et al. (2023), los trabajos de mecánica relativista son muy poco abordados por la complejidad en sus temáticas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Tipo de estudio*

El enfoque del estudio es mixto, como plantea Sánchez et al. (2022): “la metodología mixta (MM) es un diseño de investigación que involucra datos cuantitativos y cualitativos” (p.10). Este enfoque es comúnmente utilizado en investigaciones, ya que suelen incluir elementos cuantitativos para representar los resultados y elementos cualitativos para interpretarlos. Estos dos aspectos se complementan entre sí, permitiendo obtener una visión más completa y precisa de los hallazgos.

El análisis de los alcances de esta investigación conduce a la conclusión de que se trata principalmente de un estudio descriptivo, dado que “puede desarrollarse con un enfoque cuantitativo o cualitativo” (Valle Taiman et al., 2022, p. 15). El artículo se enfoca en proporcionar una descripción exhaustiva y objetiva de la práctica pedagógica y los temas tratados en el contexto de la Mecánica Relativista.

### *Escenario de la Investigación*

El estudio se llevó a cabo en el Centro Universitario Regional de Estelí de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, ubicado en el barrio 14 de abril al noroeste de la ciudad de Estelí, cerca de la subestación de ENATREL. Esta institución cuenta con cinco recintos universitarios, pero las oficinas principales y desde donde se gestionan los procesos administrativos y académicos se encuentran en el Recinto Leonel Rugama Rugama (Triminio-Zavala et al., 2024).

### *Población y muestra*

En el presente artículo, la población consistió en 35 estudiantes pertenecientes a IV año de la carrera de Física-Matemática de la UNAN-Managua/CUR-Estelí. Esta cantidad de estudiantes representa la matrícula inicial del curso de mecánica relativista que se analizó en el estudio.

La muestra de este estudio estuvo compuesta por 29 estudiantes que finalizaron el cuarto año de la carrera de Física-Matemática. Estos estudiantes representan la matrícula final del curso de mecánica relativista.





El muestreo es no probabilístico que para Hernández González (2021) este tipo de muestra no es calculada a través de métodos probabilísticos y, como resultado, no requiere de análisis estadísticos. Además, los resultados obtenidos a partir de esta muestra no pueden ser generalizados a una población más amplia.

El tipo de muestreo seleccionado es por conveniencia. Según Hernández González (2021), “La muestra se elige de acuerdo con la conveniencia de investigador, le permite elegir de manera arbitraria cuántos participantes puede haber en el estudio” (p.2). Siendo, el principal criterio es que cursen IV año de la carrera de Física-Matemática, también la disposición de los estudiantes por colaborar en esta investigación.

### *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

Según Sánchez Bracho et al. (2021), las técnicas de recopilación de información engloban todos los recursos y herramientas utilizados para registrar observaciones o facilitar el procesamiento de datos. Para este estudio en particular, se consideró la utilización de encuestas, ya que "a través de esta técnica de recolección de datos se establece contacto con las unidades de observación mediante cuestionarios preestablecidos" (Tamayo y Silva, 2012, p. 4). Estas encuestas fueron utilizadas para obtener la percepción de los estudiantes en cada una de las sesiones de clase.

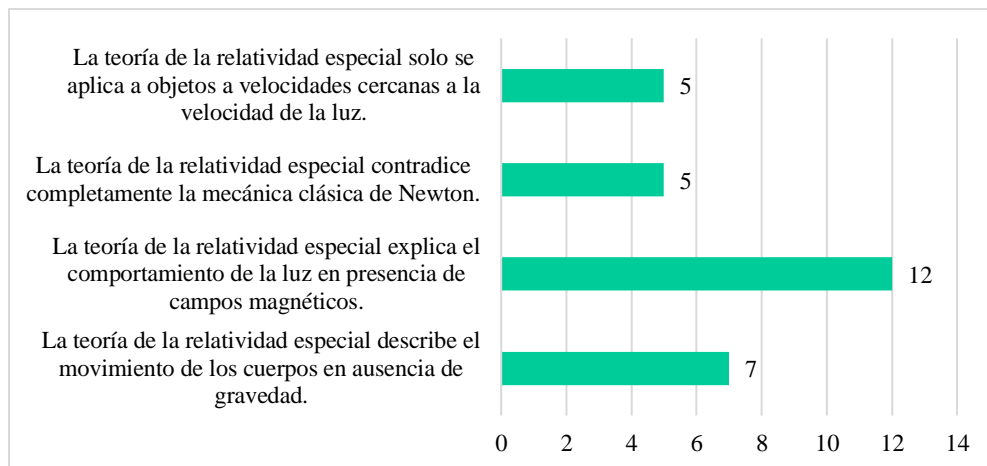
Asimismo, se empleó la observación participante, la cual permite la observación de cualquier evento o fenómeno que ocurra en un lugar o escenario específico. La observación es un proceso que implica prestar atención de manera intencionada, selectiva e inteligente, siendo guiada por un propósito u objetivo organizador.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El análisis y la discusión de los resultados del artículo se inician mediante el examen de los datos recopilados a través de la técnica de encuesta y la observación directa en el aula de clase. La encuesta se utilizó como el principal instrumento para describir la práctica pedagógica del docente de Mecánica Relativista con estudiantes de cuarto año de la carrera de Física-Matemática.

### *Evaluación diagnóstica*

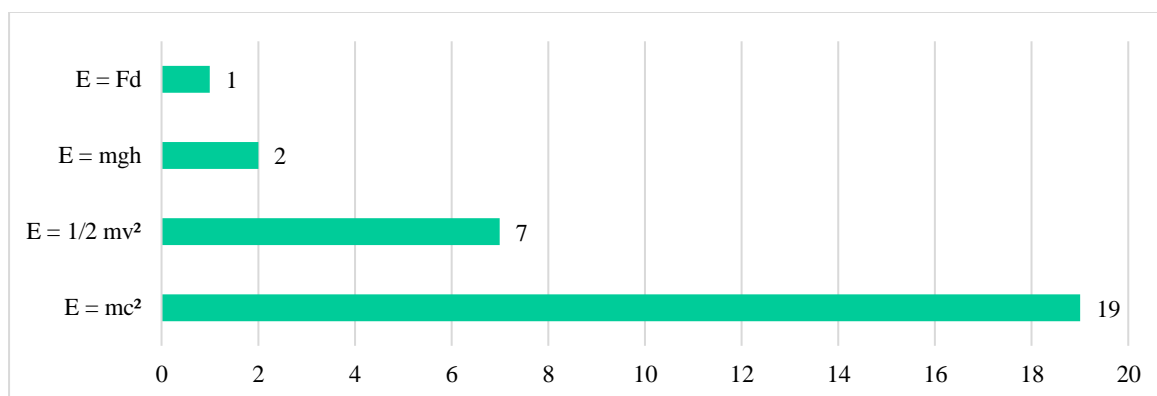
El curso de Mecánica Relativista se inició con la implementación de una evaluación diagnóstica con el objetivo de identificar los conocimientos previos de los estudiantes. Esta evaluación fue fundamental para tomar decisiones informadas y adaptar la práctica pedagógica de acuerdo con las necesidades y nivel de comprensión de los estudiantes, se muestran algunas interrogantes en la figura 2 y 3.



**Figura 1.** Pregunta sobre comprensión de la Teoría de la Relatividad Especial

El análisis revela que la afirmación correcta acerca de la teoría de la relatividad especial de Einstein es: "La teoría de la relatividad especial solo se aplica a objetos a velocidades cercanas a la velocidad de la luz", ya que solo 5 estudiantes la eligieron respuesta correcta. Esto indica que existe cierta confusión o falta de comprensión sobre el alcance de la teoría en el grupo de estudiantes encuestados.

Es importante destacar que la teoría de la relatividad especial no contradice completamente la mecánica clásica de Newton, sino que la expande y corrige en situaciones de altas velocidades. Además, es necesario aclarar que la teoría de la relatividad especial se enfoca en el comportamiento de los cuerpos en ausencia de gravedad, no en la interacción de la luz con campos magnéticos. Estos resultados subrayan la importancia de abordar y aclarar conceptos clave de la teoría de la relatividad especial, así como promover una comprensión más precisa y completa de sus principios y aplicaciones.



**Figura 2.** Pregunta sobre ecuación de Alberth Einstein que relaciona la energía (E) y la masa (m) de un objeto.

El análisis revela que la ecuación correcta para calcular la energía total (E) de un objeto en movimiento según la teoría de la relatividad especial es:  $E = mc^2$ , ya que 19 estudiantes la eligieron correctamente. Esta ecuación es conocida como la famosa ecuación de equivalencia

masa-energía de Einstein, donde  $m$  es la masa del cuerpo en reposo y  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío.

Es importante destacar que las ecuaciones presentadas, como  $E = 1/2 mv^2$ ,  $E = mgh$  y  $E = Fd$ , no son las correctas para calcular la energía total en el contexto de la teoría de la relatividad especial. Estas ecuaciones corresponden a la energía cinética clásica, energía potencial gravitacional y trabajo realizado por una fuerza, respectivamente.

Los resultados resaltan la necesidad de enseñar y enfatizar la ecuación correcta,  $E = mc^2$ , que representa la equivalencia entre la masa y la energía en el marco de la teoría de la relatividad especial.

La evaluación diagnóstica ayudó a ajustar y mejorar la práctica pedagógica al proporcionar información relevante sobre los conocimientos previos de los estudiantes, permitiendo al docente adaptar su enfoque, proporcionar intervenciones específicas y garantizar una mejor comprensión y aprendizaje de la Mecánica Relativista.

### *Antecedentes Experimentales de la Teoría Especial de la Relatividad*

En la unidad 1, que aborda los antecedentes experimentales de la Teoría Especial de la Relatividad, se implementaron diversas estrategias pedagógicas con el objetivo de promover la comprensión profunda, el pensamiento crítico y el interés de los estudiantes en la física. Las estrategias más efectivas incluyeron la contextualización, el uso de analogías, representaciones visuales, experimentos mentales y resolución de problemas.

Para analizar los conceptos clave de la unidad, se llevó a cabo una actividad donde se entregó a cada estudiante una hoja blanca con un concepto específico para consultar diferentes fuentes bibliográficas dadas por el docente. Los estudiantes contaron con 10 minutos para investigar sobre el tema y luego se les brindó un espacio de 20 minutos para compartir y colocar en la pizarra lo investigado, creando así un mapa mental de forma conjunta. La formación de pequeños grupos según el concepto a analizar permitió una discusión enriquecedora y el intercambio de ideas entre los estudiantes.

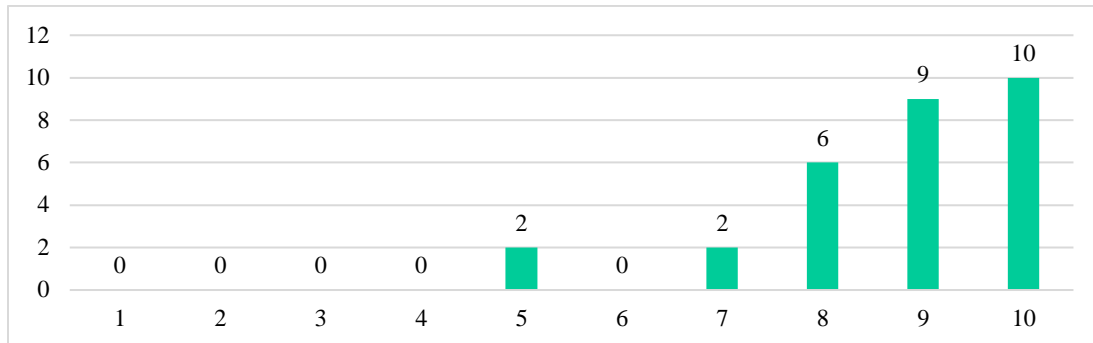


**Figura 3.** Estudiantes compartiendo sus ideas claves sobre conceptos básicos de la Relatividad General

La Figura 4 refleja la presentación, análisis y debate de los conceptos clave de la Relatividad General, así como la implementación de las estrategias pedagógicas. Posteriormente, se aplicó un instrumento de evaluación a los estudiantes con el fin de conocer su apreciación y percepción sobre la temática abordada y las estrategias utilizadas en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Estos



resultados brindarán información valiosa para evaluar el impacto educativo de la práctica pedagógica y realizar ajustes o mejoras en futuras intervenciones educativas.



**Figura 4.** Percepción de los estudiantes sobre el estudio de conceptos claves

Estos resultados indican una comprensión moderada a excelente de los conceptos clave por parte de estos estudiantes. El análisis de los resultados de la valoración de los estudiantes revela una variedad de opiniones y percepciones sobre la práctica pedagógica en Mecánica Relativista. A continuación, se detallan los comentarios proporcionados por los estudiantes:

Los comentarios de los estudiantes reflejan una variedad de percepciones y evaluaciones sobre la práctica pedagógica en Mecánica Relativista. Algunos estudiantes manifestaron una satisfacción general y consideraron que la práctica fue motivadora y facilitó un aprendizaje significativo. Sin embargo, también se identificaron áreas de mejora, como la necesidad de aprovechar más el tiempo, fomentar una mayor participación y abordar las dificultades de comprensión de algunos estudiantes. Estos comentarios proporcionan información valiosa para realizar ajustes y mejoras en futuras intervenciones educativas. Este resultado es respaldado por la investigación de Arriasec et al. (2016), quienes también señalan que una de las principales dificultades que enfrentan los estudiantes es la falta de construcción de conceptos significativos en mecánica clásica antes de abordar la Teoría de la Relatividad.

**Tabla 1.** Comentario de los estudiantes

Comentario de los estudiantes	Análisis
Estuvo excelente	Este estudiante expresó su satisfacción general con la práctica pedagógica, lo cual indica que consideró que el enfoque y las estrategias utilizadas fueron efectivas y contribuyeron a su aprendizaje.
Aprovechar más el tiempo	Este comentario sugiere que el estudiante considera que el tiempo asignado para la práctica pedagógica podría haberse utilizado de manera más eficiente o que habría sido beneficioso tener más tiempo para profundizar en los conceptos.
Nada	Este estudiante no proporcionó comentarios adicionales, por lo que no es posible determinar su evaluación o percepción específica de la práctica pedagógica.
Sería poner más escucha	Este comentario indica que el estudiante considera que se podría haber fomentado una mayor participación y escucha activa por parte de los estudiantes durante la práctica pedagógica.

Comentario de los estudiantes	Análisis
Motivadora	Este estudiante percibió la práctica pedagógica como motivadora, lo que sugiere que las estrategias utilizadas lograron captar su interés y mantener su motivación durante el proceso de aprendizaje.
Se logró compartir conocimientos	Este comentario destaca que se logró un ambiente propicio para el intercambio de conocimientos entre los estudiantes, lo cual indica que se fomentó la colaboración y el aprendizaje colectivo. "Aprendizaje significativo": Este estudiante consideró que la práctica pedagógica facilitó un aprendizaje significativo, lo que implica que pudo relacionar los conceptos estudiados con situaciones prácticas o de su vida cotidiana.
Todo bien se pudo coordinar y concordar lo expuesto	Este comentario señala que la práctica pedagógica se llevó a cabo de manera organizada y que los estudiantes pudieron coordinar y concordar en los temas tratados durante la actividad.
Todo estuvo excelente	Este estudiante expresó su satisfacción general con la práctica pedagógica, lo cual indica que consideró que el enfoque y las estrategias utilizadas fueron efectivas y contribuyeron a su aprendizaje, al igual que el estudiante número 1.
Análisis conceptuales, falta de comprensión	Este comentario sugiere que algunos estudiantes tuvieron dificultades para comprender los conceptos clave de la Mecánica Relativista, lo que indica una necesidad de brindar un apoyo adicional y reforzar la comprensión de esos estudiantes en particular.

Se diseñaron actividades de resolución de problemas para afianzar y aplicar los conceptos clave del relativismo. Estas actividades desafiaron a los estudiantes a relacionar los conceptos teóricos con situaciones prácticas y a aplicarlos en contextos reales. Los estudiantes tuvieron la oportunidad de fortalecer su comprensión de los conceptos y desarrollar habilidades de pensamiento crítico y resolución de problemas al enfrentar estas situaciones problemáticas.

La resolución de problemas como enfoque pedagógico ofrece numerosos beneficios, ya que promueve el aprendizaje activo y significativo (Herrera Castrillo et al., 2024). Permite a los estudiantes enfrentar desafíos y aplicar los conocimientos de manera práctica, lo que contribuye a una comprensión más sólida y duradera de los conceptos. Además, fomenta el desarrollo de habilidades de razonamiento lógico, análisis y toma de decisiones. Este resultado se alinea con los hallazgos de Ulazia Manterola (2015), quien también enfatiza la importancia de la analogía en el contexto de la resolución de problemas. Según Manterola, el uso de analogías implica un cambio en la forma en que se representa el problema.

Se llevaron a cabo experimentos sencillos en grupos preestablecidos, tal como se muestra en la Figura 6. Los participantes recibieron una guía de laboratorio, la cual les proporcionó instrucciones para realizar observaciones y registrar los resultados obtenidos. Esta actividad práctica brindó a los estudiantes la oportunidad de aplicar los conceptos teóricos aprendidos, lo que fomentó un aprendizaje significativo y una comprensión más profunda de los fenómenos estudiados (Manrique Lagos, 2017).

Estos experimentos se realizaron con el objetivo de explorar diferentes aspectos de la relatividad. Entre ellos se encuentra el famoso experimento de Michelson-Morley, el cual se utilizó para investigar la existencia del éter luminífero. Además, se realizaron experimentos relacionados con la dilatación del tiempo, la contracción de longitud, la curvatura del espacio-tiempo y la variación de la masa con la velocidad. Estos experimentos permitieron a los estudiantes obtener datos empíricos y confirmar los conceptos teóricos clave de la relatividad, es importante aclarar que para tener datos más precisos es recomendable trabajar simulaciones virtuales.



Figura 5. Experimentos de mecánica relativista

Para comprender estas teorías, se pueden realizar experimentos con materiales de fácil acceso, pero para obtener datos más precisos, se requiere el uso de simuladores virtuales. En el caso específico del experimento Michelson-Morley como se muestra en la figura 6, se utiliza un interferómetro para medir longitudes de onda o cambios de longitud con precisión a través del fenómeno de interferencia. Según el libro de referencia de Resnick (1990), se necesitan materiales de medición de precisión, ya que la longitud de onda de la luz láser utilizada está en el rango de  $400 \text{ nm}$  a  $700 \text{ nm}$ .

Al profundizar en el experimento de Michelson-Morley, considerando las ideas de Ciencias TV (2020), buscaba demostrar que la rotación de la Tierra afectaba la velocidad de la luz en diferentes direcciones debido a la presencia del éter. Sin embargo, los resultados sorprendieron al no encontrar ninguna diferencia en la velocidad de la luz, lo que indicaba la inexistencia del éter o una comprensión incorrecta de su naturaleza. Esta contradicción llevó al desarrollo de la teoría de la relatividad de Einstein, que revolucionó nuestra comprensión de la luz y el espacio-tiempo al postular que la velocidad de la luz es constante en todos los marcos de referencia.

En la tercera imagen de la Figura 6 se representa el experimento de la dilatación del tiempo. Para llevar a cabo este experimento, se necesitan dos relojes (preferiblemente digitales), un cronómetro o reloj con función de temporizador y una superficie plana y estable. Lo que indica el reloj en movimiento dependerá del tiempo de reacción del que lo manipula con respecto al tiempo que le indique al reloj con temporizador, lo que indica que hay una alta probabilidad de que ambos reloj marquen distintos tiempos. McKelvey y Grotch (1999) explican que los pasos a seguir incluyen colocar los dos relojes lado a lado, sincronizarlos inicialmente, iniciar el cronómetro, mover uno de los relojes en un movimiento circular constante alrededor del otro, realizar varias vueltas completas y detener el cronómetro. Luego, se comparan los tiempos registrados en el reloj en movimiento y el reloj estacionario para observar si existe alguna diferencia en los tiempos medidos.

En la cuarta imagen de la Figura 6 se muestra el experimento de contracción de longitud. Para llevar a cabo este experimento, se necesitan una regla o cinta métrica, un objeto pequeño como un lápiz o una regla pequeña y una superficie plana y estable. Según Young et al. (2009), los pasos a seguir incluyen colocar la regla o cinta métrica sobre la superficie, medir la longitud del objeto pequeño y registrarla como  $L$ , mover rápidamente el objeto a lo largo de la regla en una dirección específica a una velocidad constante durante un corto período de tiempo, volver a medir la longitud del objeto después del movimiento y registrarla como  $L$ . Finalmente, se comparan las longitudes inicial y final para observar si hay alguna diferencia en las medidas.

En condiciones normales de la vida cotidiana, deslizar un objeto lateralmente sobre una superficie plana no debería ocasionar una disminución notable en su longitud. La longitud de un objeto generalmente se mide a lo largo de su eje principal, y este tipo de movimiento lateral no debería afectar esa dimensión de manera significativa. Sin embargo, podría haber consideraciones prácticas como la deformación elástica en materiales deformables o posibles errores de medición que podrían influir mínimamente en la medición. Es importante asegurar medir en condiciones estables y seguir prácticas adecuadas de medición para minimizar cualquier posible impacto. En resumen, en condiciones normales, mover un objeto lateralmente sobre una superficie plana no debería causar una reducción significativa en su longitud.

En la quinta imagen de la Figura 6, se encuentra el experimento de velocidades relativas y reflexión de la luz. Para llevar a cabo este experimento se necesitan dos espejos planos, una fuente de luz (como una linterna o un láser), un cronómetro o reloj con función de temporizador, una regla o cinta métrica y una superficie plana y estable. Según Resnick (1990), los pasos a seguir incluyen colocar los espejos con una distancia de separación de aproximadamente 1 metro, dirigir el haz de luz hacia uno de los espejos y observar los ángulos de incidencia y reflexión, medir el tiempo que tarda la luz en viajar desde la fuente hasta el espejo y regresar, intercambiar la posición de los espejos y repetir la medición de tiempos para comparar los resultados entre los dos arreglos. Este experimento permite explorar las velocidades relativas y cómo se refleja la luz en diferentes configuraciones de espejos.

A continuación, se muestra la apreciación de los estudiantes, a través de la figura 7:

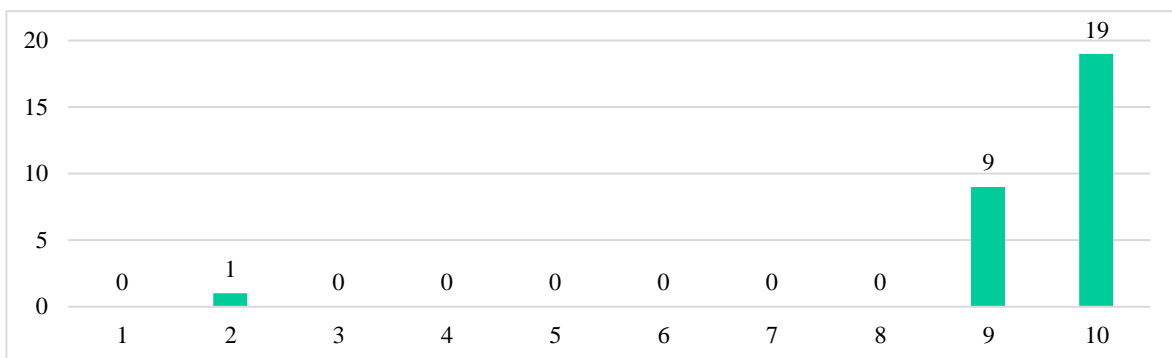


Figura 6. Apreciación de clase experimental por parte de los estudiantes

Los experimentos con materiales de fácil acceso en el campo de la Mecánica Relativista se dejan como una propuesta pedagógica para otros estudios. Algunos ejemplos de experimentos que podrían ser explorados incluyen el experimento de Michelson-Morley, que investiga la ausencia de un éter luminífero y sus implicaciones en la teoría de la relatividad; el experimento de la dilatación del tiempo, que busca demostrar cómo el tiempo se ralentiza para objetos en movimiento rápido; el experimento de la contracción de la longitud, que examina cómo los objetos en movimiento se acortan en la dirección de su movimiento; el experimento de las velocidades relativas, que permite observar cómo se suman las velocidades en la relatividad; y el experimento de la reflexión de la luz, que ilustra cómo la luz se comporta en relación con los observadores en movimiento. Estos experimentos podrían servir como sugerencias para futuros estudios en este fascinante campo de la física.

También, se hizo uso de tecnología a través de los simulares para llevar a cabo experimentos virtuales de mecánica relativista: "Relativistic Mechanics Simulator". Mediante esta herramienta, se han realizado exitosamente una serie de experimentos que permiten a los estudiantes explorar y comprender los fenómenos físicos que ocurren a velocidades cercanas a la velocidad de la luz. Mediante el ajuste de parámetros como la velocidad, la masa y la energía, los estudiantes han podido observar de manera interactiva cómo las propiedades espacio-temporales se modifican y cómo esto afecta a los objetos en movimiento. Con visualizaciones gráficas detalladas, el "Relativistic Mechanics Simulator" ha facilitado la comprensión de conceptos abstractos como la dilatación del tiempo y la contracción de la longitud. Gracias a esta herramienta, los estudiantes han tenido la oportunidad de experimentar y adquirir conocimientos sobre los principios fundamentales de la mecánica relativista de una manera accesible y educativa.

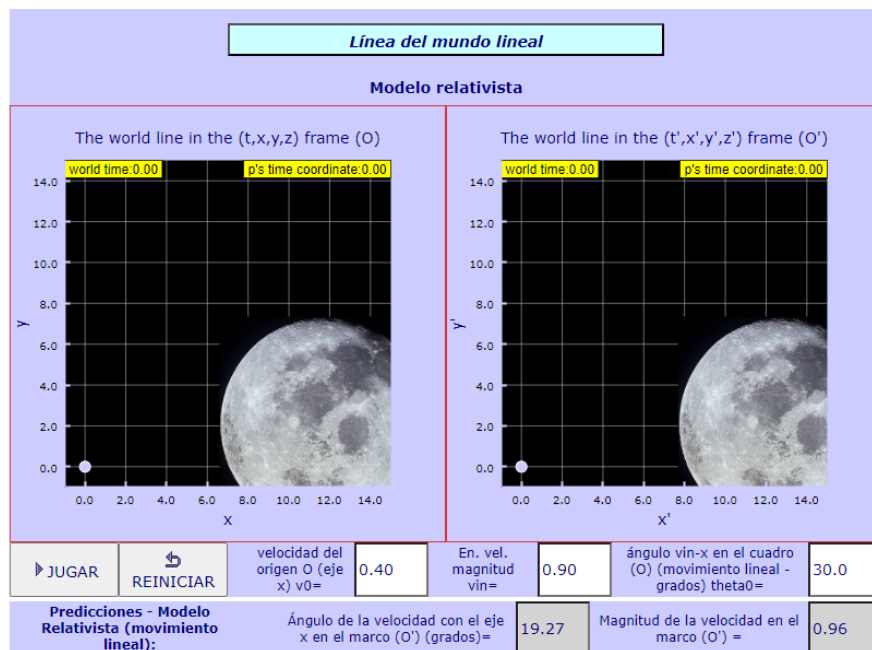


Figura 7. Entorno virtual para demostración de fenómeno relativista, extraído de (Papamichalis, 2012)



En esta simulación, los usuarios pueden estudiar el movimiento de una partícula en dos sistemas inerciales: el marco de referencia relativista de la Teoría de la Relatividad Especial de Einstein y el marco de referencia newtoniano de la Mecánica Clásica. Pueden elegir entre dos tipos de movimiento: lineal uniforme o circular uniforme, y ajustar la velocidad y el ángulo de la partícula en el marco de referencia original. El origen del marco de referencia original se mueve a lo largo del eje x con una velocidad controlada por el usuario en relación con el marco de referencia secundario. Los relojes en cada ventana miden la hora mundial para el sistema inercial correspondiente y la coordenada temporal de la partícula. Se pide a los usuarios que justifiquen las características de la línea mundial de la partícula en el marco de referencia secundario para cualquier conjunto de condiciones iniciales seleccionadas, dadas o calculadas (Papamichalis, 2012).

Demostrar un principio físico que a simple vista es extremadamente difícil de percibir y comprender desde la realidad misma es de suma importancia al transmitir conocimientos. En este caso, los educadores se convierten en pilares fundamentales de la innovación y la interacción en el proceso educativo. Al mismo tiempo, los estudiantes desempeñan un papel crucial al ser los constructores de su propio conocimiento. Sin embargo, es importante reconocer que la tecnología desempeña un papel esencial en el proceso de enseñanza-aprendizaje, pero su efectividad depende de que los docentes utilicen de manera oportuna los entornos educativos (Muñoz Vallecillo et al., 2023).

En general, estas estrategias pedagógicas resultaron efectivas para promover el aprendizaje y la comprensión de la Mecánica Relativista en los estudiantes. La contextualización, el uso de analogías y representaciones visuales contribuyeron a hacer los conceptos más accesibles y comprensibles. Los experimentos mentales y la resolución de problemas estimularon el pensamiento crítico y la aplicación práctica de los conocimientos teóricos. La realización de experimentos sencillos permitió a los estudiantes experimentar directamente con los conceptos y observar los fenómenos en acción.

### ***Cinemática Relativista***

En la Unidad 2 sobre Cinemática Relativista, los estudiantes demostraron un exitoso uso de razonamientos lógicos en la resolución de situaciones problemáticas cualitativas y cuantitativas relacionadas con la cinemática relativista. Pudieron aplicar de manera efectiva los fundamentos teóricos de esta en la solución de problemas cualitativos, identificando y analizando factores clave como la dilatación temporal y la contracción espacial. Los estudiantes fueron capaces de comprender cómo estos fenómenos afectan el movimiento de los objetos en relación con diferentes observadores y demostraron habilidades para razonar lógicamente y explicar coherentemente los conceptos relativistas involucrados en cada situación problemática.

Los estudiantes demostraron habilidades tanto en la resolución de problemas cualitativos como cuantitativos relacionados con la cinemática relativista. Pudieron aplicar los conceptos teóricos de manera efectiva y utilizar las ecuaciones de transformación de Lorentz para realizar cálculos precisos. Además, expresaron una opinión positiva sobre la metodología utilizada en las clases, destacando su efectividad y diversión. Algunos sugirieron una mejor organización del tiempo, pero

en general, se percibe que la metodología fue bien recibida y valorada por los estudiantes, quienes demostraron un sólido dominio de los razonamientos lógicos necesarios para fundamentar la cinemática relativista.

Los conceptos de espacio y tiempo han sido objeto de numerosas reflexiones tanto en el ámbito filosófico como en el físico. Específicamente en la física ha existido una tensión entre las ideas de espacio y tiempo absolutos y las concepciones relativas de estos conceptos. La noción de espacio y tiempo absolutos implica considerarlos como entidades físicas que poseen una existencia independiente, mientras que las concepciones relativas se refieren únicamente a las relaciones entre objetos y eventos, las cuales pueden ser medidas (Pardo Ariza, 2021).

### *Dinámica Relativista*

En la Unidad 3: Dinámica Relativista, los estudiantes utilizaron con éxito razonamientos lógicos para fundamentar la dinámica relativista y resolver situaciones problemáticas cualitativas y cuantitativas.

Se presentaron los conceptos básicos de la mecánica clásica y la teoría de la relatividad, y se generó una discusión sobre las diferencias fundamentales entre ambas teorías. Los estudiantes utilizaron razonamientos lógicos para comprender y analizar las disparidades entre estas dos perspectivas y reconocer cómo la relatividad desafía los supuestos de la mecánica clásica.

Se introdujo la cantidad de movimiento relativista y se realizaron ejercicios prácticos para calcularla en partículas en movimiento. Los estudiantes aplicaron razonamientos lógicos y fórmulas correspondientes para determinar la cantidad de movimiento y comprender su relación con la velocidad y la energía de las partículas. También se abordó la ley relativista para fuerzas y su relación con la dinámica de una sola partícula. Los estudiantes utilizaron razonamientos lógicos para comprender cómo actúan las fuerzas sobre partículas en movimiento y resolvieron problemas relacionados con esta ley. Además, se discutió la ecuación de equivalencia de masa y energía,  $E=mc^2$ , y se presentaron ejemplos que ilustraron la conversión de masa en energía y viceversa. Los estudiantes aplicaron razonamientos lógicos para comprender esta relación y reconocer su importancia en diferentes contextos. También se exploró la relatividad en el contexto del electromagnetismo, donde los estudiantes utilizaron razonamientos lógicos para comprender cómo la teoría de la relatividad afecta nuestra comprensión de este campo.

La implementación de prácticas pedagógicas efectivas tuvo un impacto positivo en el aprendizaje de los estudiantes en la Unidad 3. A través de enfoques y estrategias pedagógicas, los estudiantes mejoraron su comprensión de los conceptos relativistas y desarrollaron habilidades para aplicarlos en situaciones problemáticas. Los razonamientos lógicos desempeñaron un papel fundamental en el proceso de aprendizaje, permitiendo a los estudiantes analizar, interpretar y resolver problemas de manera efectiva en el contexto de la dinámica relativista.

Este hallazgo se alinea con la perspectiva presentada por Pardo Ariza (2021) en relación con la enseñanza de las ciencias. Según esta perspectiva, independientemente del contexto en el que se lleve a cabo la enseñanza de las ciencias, es importante abordar diferentes aspectos relacionados con la historia, como los planteamientos, la epistemología, la filosofía y los aspectos sociales que condujeron a la consolidación de explicaciones que describen el mundo físico.

Al finalizar el curso de mecánica relativista, se preguntó a los estudiantes aspectos positivos y negativos, obteniendo:

**Tabla 2. Aspectos positivos y negativos en el curso de Mecánica Relativista**

Aspectos Positivos	Aspectos Negativos
El curso de Mecánica Relativista proporcionó a los estudiantes una comprensión más profunda de los principios y conceptos relativistas, lo que les brindó confianza y capacidad para aplicarlos en situaciones problemáticas. Mejoró su habilidad para resolver problemas relacionados con la mecánica relativista, proporcionándoles herramientas, estrategias y razonamientos lógicos para abordar tanto situaciones cualitativas como cuantitativas. La implementación de prácticas pedagógicas efectivas, como discusiones, ejercicios prácticos y ejemplos ilustrativos, contribuyó a una mejor comprensión de los conceptos y su aplicación en el mundo real	Algunos estudiantes enfrentaron dificultades conceptuales al estudiar la mecánica relativista, especialmente al comprender conceptos como la dilatación temporal y la contracción espacial. Estos conceptos requirieron un esfuerzo adicional para comprender completamente. Además, algunos estudiantes tuvieron dificultades para organizar su tiempo de estudio y trabajo en el curso. Solicitaron una mayor estructura y claridad en las tareas y actividades para administrar mejor su tiempo y cumplir con los requisitos del curso.

El curso de mecánica relativista tuvo un impacto positivo en los estudiantes al permitirles adquirir una comprensión más profunda de los conceptos y mejorar su capacidad para resolver problemas. Las prácticas pedagógicas implementadas contribuyeron a una mejor comprensión y aplicación de los conceptos en situaciones reales. Aunque algunos estudiantes enfrentaron dificultades conceptuales y de organización del tiempo, los aspectos positivos prevalecieron, brindando una experiencia educativa enriquecedora en el campo de la mecánica relativista. La curiosidad y la motivación hacia la innovación son fuerzas impulsoras que guían estos proyectos, estimulando la exploración, experimentación y búsqueda de soluciones creativas.

## CONCLUSIONES

El tema del estudio es amplio y complejo, exige pensamiento crítico y comparación de diferentes teorías para comprenderlo adecuadamente. Plantea la necesidad de realizar investigaciones futuras, para promover el aprendizaje de fenómenos abstractos relativistas a través de recursos tecnológicos y actividades que lleven a la comprensión teórica y práctica.

La implementación de prácticas pedagógicas efectivas en el curso de Mecánica Relativista demostró ser fundamental para mejorar la comprensión de los estudiantes sobre los conceptos y principios relativistas. Mediante enfoques como discusiones, ejercicios prácticos y ejemplos ilustrativos, se logra fortalecer el dominio de estos conceptos y la capacidad para aplicarlos en situaciones problemáticas.

Las estrategias pedagógicas utilizadas permiten a los estudiantes desarrollar habilidades de razonamiento lógico y resolución de problemas en el contexto de la Mecánica Relativista. Aprenden a aplicar fórmulas y ecuaciones relevantes, adhiriéndoles confianza y competencia para abordar situaciones cualitativas y cuantitativas de manera efectiva.

El impacto educativo positivo de las prácticas pedagógicas se refleja en una mayor comprensión de los conceptos relativistas y una mejora en la capacidad de los estudiantes para resolver problemas en este campo. A través de discusiones y ejercicios prácticos, los estudiantes han podido relacionar los conceptos teóricos con situaciones prácticas, lo que ha fortalecido su aprendizaje y su capacidad para aplicar los conocimientos adquiridos.

Además, es de vital importancia para los campos de la física y las matemáticas conocer las personalidades que sirvieron como puente entre Newton y Einstein, ya que esto proporciona una mejor comprensión de la relevancia del estudio de la física en todas sus ramas.

Aunque algunos estudiantes han enfrentado desafíos conceptuales al abordar la Mecánica Relativista, se ha observado una mejora gradual en su comprensión a medida que se les brindan las herramientas y estrategias adecuadas. La introducción de conceptos como la dilatación temporal y la contracción espacial ha requerido un esfuerzo adicional, pero los estudiantes han demostrado una capacidad para superar estos desafíos y alcanzar una comprensión más profunda.

La práctica pedagógica en el curso de Mecánica Relativista ha tenido un impacto positivo en el aprendizaje de los estudiantes. Han mejorado su comprensión conceptual, habilidades de resolución de problemas y razonamiento lógico. Algunos estudiantes han expresado la necesidad de una mayor estructura y claridad en las tareas para gestionar mejor su tiempo de estudio. A pesar de los desafíos, los aspectos positivos han prevalecido, permitiendo a los estudiantes adquirir una comprensión más profunda de los conceptos y aplicarlos en situaciones problemáticas.

Por último, resultaría especialmente interesante que los estudiantes de Física y Matemáticas que aspiren a convertirse en futuros docentes de Educación Media o Superior se mantengan actualizados y apliquen la Inteligencia Artificial (IA) junto con el pensamiento crítico. Esto les permitirá explorar nuevas perspectivas y enfoques en su enseñanza, enriqueciendo así la experiencia educativa para sus estudiantes.

## REFERENCIAS

- Agudelo Carvajal, L. M., Caro, D. C., y Castro Daza, D. (2011). *La importancia de las prácticas pedagógicas en el proceso de enseñanza y aprendizaje*. [Trabajo de grado] EPDH, 1-25. <https://repositorio.ucp.edu.co/handle/10785/6990>
- Alonso, M., y Finn, E. (1999). *Física. Campos y Ondas* (Doceava ed., Vol. II). Editorial Addison-Wesley. <https://bitly.ws/3dPft>
- Arriasecq, I., Seoane, E., Cayul, E., y Greca, I. (2016). *Teoría Especial de la Relatividad en la escuela secundaria: perspectiva de los docentes y análisis de textos*. Revista De Enseñanza De La Física, 28(Extra), 15-22. <https://bitly.ws/3dPjD>
- Barbero, F. (2015). *Einstein, la luz, el espacio-tiempo y los cuantos*. Arbor, 191(775), 1-24. <https://doi.org/10.3989/arbor.2015.775n5005>



- Castillo-Castillo, K. I., Hernández-Meza, G. A., y Herrera-Castrillo, C. J. (2023). *Estado del arte de investigaciones referente a Física Clásica y Moderna en el Período 2016 – 2021*. Revista Educación Superior, 35(1), 65–83. <https://doi.org/10.56918/es.2023.i35.pp65-83>
- Cheguhem Riani, M. (2022). *Las partículas de la finitud: aportaciones de la física al pensamiento ecológico en "Cántico cósmico"*, de Ernesto Cardenal. Revista [sic](32), 48–59. <https://doi.org/10.56719/sic.2022.32.425>
- Ciencias TV. (22 de Noviembre de 2020). *El Experimento Michelson Morley (Universo Mecánico 41)*. [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=3fVKXhdzCBA>
- Cuevas, G. G. (2017). *Relatividad General – Una Explicación*. Revista de Temas Nicaragüenses (113), 144-163. <https://bitly.ws/3dPpF>
- Hernández González, O. (2021). *Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen*. Revista Cubana de Medicina General Integral, 37(3), 1-3. <https://bitly.ws/3dPBP>
- Herrera Castrillo, C. J. (2020). *Aprendizaje en las asignaturas “Electricidad” y “Termodinámica y Física Estadística” en tiempos de pandemia*. Revista Multi-Ensayos, 7(13), 14-25. <https://doi.org/10.5377/multiensayos.v7i13.10748>
- Herrera Castrillo, C. J., Herrera Arróliga, J. E., y Córdoba Fuentes, D. J. (2024). *Ciencia, didáctica y tecnología en la interdisciplinariedad para el desarrollo de competencias*. Revista Multi-Ensayos, 10(19), 77–105. <https://doi.org/10.5377/multiensayos.v10i19.17563>
- Manrique Lagos, A. L. (2017). *Análisis de las prácticas pedagógicas de los profesores universitarios: el caso de la enseñanza de la física en primer ciclo universitario*. [Tesis de Doctorado]. Université Sorbonne Paris. <https://theses.hal.science/tel-01925776/>
- McKelvey, J. P., y Grotch, H. (1999). *Física para Ciencias e Ingeniería*. Ediciones Reverté. <https://bitly.ws/3dPho>
- Muñoz Vallecillo, L. O., Martínez González, Y. Y., Medina Martínez, W. I., y Herrera Castrillo, C. J. (2023). *Uso de simuladores y asistente matemático en la demostración del principio de Pascal al aplicarse integrales y vectores*. Revista Científica Tecnológica, 2(6), 48-60. <https://revistarecientec.unan.edu.ni/index.php/recientec/article/view/214>
- Papamichalis, K. (2012). *Simulación de líneas del mundo relativista y newtoniana. Las líneas del mundo se transforman: el punto de vista relativista y newtoniano*: <https://www.compadre.org/osp/EJSS/5435/434.htm>
- Pardo Ariza, L. S. (2021). *Análisis conceptual del espacio-tiempo como elemento para la enseñanza de la teoría especial de la relatividad*. [Trabajo de grado] Universidad Pedagógica Nacional. <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/1679>



- Payan, J. J., Sánchez Rizo, J., Peña Hurtado, L., y López Requene, W. (2019). *Programa de Asignatura Mecánica Relativista*. UNAN-Managua. <https://bitly.ws/3dPjd>
- Resnick, R. (1977). *Introducción a la Teoría Especial de la Relatividad*. Editorial Limusa. <https://bitly.ws/3dP3D>
- Resnick, R. (1990). *Conceptos de Relatividad y Teoría Cuántica* (Cuarta ed.). Limusa.
- Sánchez Bracho, M., Fernández, M., y Díaz, J. (2021). *Técnicas e instrumentos de recolección de información: análisis y procesamiento realizado por el investigador cualitativo*. Revista Científica UISRAEL, 8(1), 107–121. <https://doi.org/10.35290/rcui.v8n1.2021.400>
- Sánchez, M. Z., Mejías, M., y Olivety, M. (2022). *Diseño de Metodologías Mixtas una revisión de las estrategias para combinar*. Revista Electrónica Human@s Enfermería en Red, 3, 10-13. <https://bitly.ws/3dPiU>.
- Serway, R. A., y Jewett, J. W. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con Física Moderna* (Séptima ed., Vol. II). Cengage Learning Editores, S.A. de C.V. <https://bitly.ws/3dPbx>
- Tamayo Ly, C., y Silva Siesquén, I. (2012). *Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos*. <https://n9.cl/jbmcp>
- Tipler, P. A., y Mosca, G. (2010). *Física para la Ciencia y la Tecnología* (Vol. II). Editorial Reverté S. A. <https://bitly.ws/3dPdB>
- Triminio-Zavala, C. M., Herrera-Castrillo, C. J., y Medina-Martínez, W. I. (2024). *Formación investigativa del estudiante universitario en el Modelo por competencia de UNAN-Managua*. Revista Científica De FAREM-Estelí, 12(48), 108–128. <https://doi.org/10.5377/farem.v12i48.17529>
- Ulazia Manterola, A. (2015). *La analogía provocativa como estrategia pedagógica: el caso histórico de la mecánica de fluidos*. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(3), 159-174. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1426>
- Valle Taiman, A., Manrique Villavicencio, L., y Revilla Figueroa, D. (2022). *La Investigación Descriptiva con Enfoque Cualitativo en Educación*. Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://bitly.ws/ykEj>
- Young, H. D., Freedman, R. A., y Ford, L. A. (2009). *Física universitaria, con física moderna volumen 2*. Pearson Educación. <https://bitly.ws/3dP9t>