



**Acercamiento a las representaciones de las Leyes de Newton: una propuesta didáctica
apoyada en el uso de simulaciones computacionales**

Juan David Herrera Osorio

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

Asesoras

Vanessa Arias Gil, Doctora en Educación

Mónica Eliana Cardona Zapata, Magíster en Educación en Ciencias Naturales

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Licenciatura en Matemáticas y Licenciatura en Física

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita

(Herrera Osorio, 2024)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Herrera Osorio, J. D. (2024). *Acercamiento a las representaciones de las Leyes de Newton: una propuesta didáctica apoyada en el uso de simulaciones computacionales* [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Línea de Investigación en TIC para la enseñanza de las Ciencias y las Matemáticas.



Centro de Documentación Educación CEDED

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

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

Dedicatoria

Quiero dedicar todo el proceso de investigación realizado en este trabajo a mis padres, ya que principalmente gracias a ellos lo pude conseguir, les deseo salud y felicidad.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres, por todo en realidad, por la vida que me han dado.

Quiero agradecer a Gabi, porque siempre está ahí.

Quiero agradecer a mis amigos, por haber estado presente durante la carrera.

Quiero agradecer a mis asesoras, por guiarme durante el proceso de investigación.

Tabla de contenido

Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
1 Planteamiento del problema	15
2 Objetivos.....	23
2.1 Objetivo general	23
2.2 Objetivos específicos	23
3 Revisión de literatura	24
3.1 Papel de las representaciones en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas y la física en educación media	27
3.1.1 Representaciones en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas	28
3.1.2 Representaciones en la enseñanza y aprendizaje de la física	30
3.2 Simulaciones computacionales en la enseñanza de las Leyes de Newton.....	32
3.3 Uso del DUA como enfoque metodológico en la enseñanza de las matemáticas y la física con apoyo de TIC	35
3.3.1 DUA como enfoque metodológico en la enseñanza de las matemáticas con apoyo de TIC	36
3.3.2 DUA como enfoque metodológico en la enseñanza de la física con apoyo de TIC.....	37
3.4 A modo de cierre	39
4 Marco teórico	41
4.1 Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).....	41
4.1.1 TIC en la enseñanza de las matemáticas y la física	42
4.1.2 TIC seleccionadas para la investigación	44
4.1.3 TIC en el aprendizaje de las Leyes de Newton	46
4.2 Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC)	46

4.2.1 Principio de la diversidad de materiales educativos	49
4.2.2 Principio de la diversidad de estrategias de enseñanza	50
4.2.3 Principio del aprendiz como perceptor representador.....	51
4.2.4 Principio de la conciencia semántica.....	51
4.2.5 Principio del conocimiento como lenguaje	52
4.3 Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA)	54
4.3.1 Múltiples formas de representación	55
4.3.2 Múltiples formas de acción y expresión	56
4.3.3 Múltiples formas de implicación.....	56
4.4 Representaciones	57
4.5 Relación entre los referentes teóricos.....	59
5 Marco metodológico.....	62
5.1 Paradigma de investigación	62
5.2 Tipo de estudio	63
5.3 Contexto de la investigación.....	63
5.4 Participantes del estudio.....	64
5.5 Consideraciones éticas	64
5.6 Instrumentos y técnicas para la recolección de información	65
5.6.1 Análisis documental.....	65
5.6.2 Observación participante	65
5.6.3 Diario de campo.....	66
5.6.4 Entrevistas semiestructuradas	67
5.6.5 Otros instrumentos	67
5.7 Propuesta didáctica	68
5.8 Técnicas y procedimientos para el análisis de la información.....	72

5.9 Criterios de validez	74
6 Resultados y análisis.....	76
6.1 Aportes de los principios de la diversidad de estrategias y materiales de enseñanza de la TASC y de los principios del DUA para el aprendizaje de las Leyes de Newton	76
6.2 Potencialidades de la diversificación en el aula para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton.....	80
6.2.1 Aportes de las simulaciones computacionales para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton.....	81
6.2.2 Aportes de otros medios digitales para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton.....	87
6.2.3 Aportes de las prácticas experimentales para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton.....	89
6.3 Sistemas representacionales sobre las Leyes de Newton	92
6.3.1 Representaciones lingüísticas sobre las Leyes de Newton.....	92
6.3.2 Representaciones gráficas sobre las Leyes de Newton	97
7 Conclusiones.....	104
8 Recomendaciones.....	107
Referencias	108
Anexos.....	115

Lista de tablas

Tabla 1	Revistas a las que pertenecen los trabajos para la revisión de literatura.....	25
Tabla 2	Núcleos temáticos para la revisión de literatura	26
Tabla 3	Simulaciones computacionales utilizadas en la enseñanza de las Leyes de Newton.....	33
Tabla 4	Principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico	48
Tabla 5	Principios del Diseño Universal para el Aprendizaje.....	55
Tabla 6	Síntesis de la propuesta didáctica	71
Tabla 7	Matriz metodológica	73
Tabla 8	Comentarios de los participantes acerca de la propuesta didáctica	78
Tabla 9	Respuestas o comentarios de estudiantes relacionadas con el juego del tiro con arco ...	82
Tabla 10	Respuestas o comentarios de estudiantes relacionadas con el juego del billar	83
Tabla 11	Comentarios de los participantes acerca de las simulaciones computacionales	85
Tabla 12	Comentarios de los participantes acerca de los vídeos.....	88
Tabla 13	Comentarios de los participantes acerca de las prácticas experimentales.....	91
Tabla 14	Representaciones lingüísticas de las Leyes de Newton antes de la propuesta didáctica	93
Tabla 15	Representaciones lingüísticas de las Leyes de Newton de los productos de clase	96
Tabla 16	Representaciones gráficas de las Leyes de Newton para ilustrar una situación física ..	98
Tabla 17	Representaciones gráficas de las Leyes de Newton relacionadas con la masa	99
Tabla 18	Representaciones gráficas de las Leyes de Newton relacionadas con las fuerzas	100

Lista de figuras

Figura 1 Relación entre los documentos seleccionados y los núcleos temáticos planteados para la revisión de literatura	40
Figura 2 Esquema de conceptos sobre los fundamentos seleccionados de la TASC.....	53
Figura 3 Esquema de conceptos sobre los fundamentos seleccionados del DUA.....	58
Figura 4 Esquema de relación entre los referentes teóricos para la investigación.....	61
Figura 5 Tendencias acerca de la valoración de la propuesta didáctica.....	80

Lista de anexos

Anexo 1.....	115
Anexo 2.....	116
Anexo 3.....	118
Anexo 4.....	121
Anexo 5.....	123
Anexo 6.....	125
Anexo 7.....	128
Anexo 8.....	131

Resumen

El presente texto reporta un trabajo de investigación que tiene como objetivo principal analizar las representaciones que construyen los estudiantes sobre las Leyes de Newton a partir de una propuesta didáctica fundamentada en la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC), el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) y apoyada en simulaciones computacionales. La investigación pertenece a la línea de investigación en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. Se enmarca dentro del enfoque cualitativo y se apoya mediante un estudio de caso en la Institución Educativa Alfredo Cock Arango. Dentro de los principales hallazgos, se identificó que la conjunción de los principios de la TASC y el DUA favoreció a la disposición para el aprendizaje por parte de los participantes, y el uso de diversas estrategias y materiales de enseñanza aportó a las representaciones de las Leyes de Newton, ya que ofrecieron a los participantes del estudio las herramientas para interactuar experimentalmente con situaciones físicas relacionadas con las tres leyes desde diferentes medios de representación, expresión e implicación. Finalmente, se concluye que las representaciones que los estudiantes construyeron se caracterizaron por el uso del lenguaje relacionado con el objeto de conocimiento de las leyes, el establecimiento de relaciones de proporcionalidad, así como de condicionalidad, y el acercamiento a representaciones de orden vectorial.

Palabras clave: TASC, DUA, simulaciones computacionales, representaciones, Leyes de Newton.

Abstract

This research work aims to analyze the representations that students construct about Newton's Laws from a didactic proposal based on the Critical Meaningful Learning Theory (CMLT) and the Universal Design for Learning (UDL) supported by computer simulations. The study belongs to the line of research in Information and Communication Technologies (ICT) for science and mathematics teaching. It is part of qualitative approach and is supported by a case study in the Alfredo Cock Arango Educational Institution. Among the main findings, it was identified that the conjunction of the principles of the CMLT and the UDL favored the willingness to learn on the part of the participants, and the use of diverse strategies and teaching materials contributed to the representations of Newton's Laws since they offered the participants the tools to experimentally interact with physical situations related to the three laws from different means of representation, expression and implication. Finally, it is concluded that the representations that the students constructed were characterized by the use of language related to the object of knowledge of the laws, the establishment of relations of proportionality, as well as conditionality, and the approach to representations of vectorial order.

Keywords: CMLT, UDL, computational simulations, representations, Newton's Laws.

Introducción

El presente trabajo es un informe de investigación que busca cumplir con el requisito parcial para optar al título profesional del autor.

En esencia, surge a partir de la observación en el contexto de la Institución Educativa Alfredo Cock Arango, donde se identifican algunos aspectos susceptibles de adaptarse con el fin de favorecer a los procesos de enseñanza y aprendizaje relacionados con las matemáticas y la física. En dicho contexto educativo se observó una tendencia a centralizar la enseñanza a partir del uso de libros de texto y el tablero, mediante múltiples ejercicios muchas veces descontextualizados. Estos factores implicaban dos situaciones: primera, que los estudiantes manifestaban rol pasivo en el espacio de clase y se limitaban a atender las acciones y el discurso del docente; y segunda, las percepciones y representaciones que los estudiantes manifiestan acerca de los objetos de conocimiento eran superficiales, lo que afectaba a su comprensión conceptual acerca de las matemáticas y la física.

A partir de la observación anterior y de explorar posibles alternativas para favorecer la problemática planteada se consolida el camino a seguir en esta investigación, la cual busca explorar de qué manera una propuesta didáctica fundamentada en la TASC y el DUA apoyada en simulaciones computacionales favorece la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton.

Para conseguir lo anterior, se constituyen los siguientes referentes teóricos que fundamentan la investigación. Algunas ideas esenciales alrededor de las TIC, donde se establece que deben usarse con el objetivo de proporcionar experiencias de aprendizaje activas para los estudiantes y evitar la instrumentalización de estas. La TASC de Moreira (2010), donde el eje principal para la construcción de conocimiento hace referencia a los conocimientos previos que tienen los estudiantes acerca del mundo, y se definen diversos principios que orientan la propuesta didáctica y el análisis de la información. El DUA, caracterizado por Pastor et al. (2014), y que menciona que es un enfoque metodológico que ofrece alternativas para atender la diversidad de los estudiantes. Por último, las representaciones definidas de Eysenck y Keane (2005). La conjunción de estos referentes apunta principalmente a la diversificación de los procesos de enseñanza y aprendizaje, a partir del uso de diversas estrategias y materiales de enseñanza con el

fin de atender la diversidad de los estudiantes y promover su participación activa en el proceso de construcción de conocimiento.

Esta investigación se constituye a partir del enfoque de investigación cualitativo, el cual se complementó con las ideas de Stake (2010) acerca del estudio de caso. El autor menciona que “es el estudio de la particularidad de un caso singular, para llegar a comprender su actividad en circunstancias importantes” (p. 11), por lo que para esta investigación el caso es un grupo de estudiantes de grado décimo en orden de profundizar acerca del proceso de enseñanza y aprendizaje relacionado con las Leyes de Newton apoyado en las TIC. Concretamente, el objeto de estudio principal de esta investigación hace referencia a las representaciones que los estudiantes construyen de las Leyes de Newton.

El trabajo está organizado en ocho apartados, en los cuales se presentan de forma estructurada todos los elementos que hicieron parte de esta investigación.

En el primero se presenta el planteamiento del problema, donde se enuncian diferentes factores que condujeron a la formulación de la pregunta de investigación. En el segundo, se encuentran los objetivos que guiaron la investigación, así como la propuesta de intervención didáctica. En el tercero se presentan los resultados de una revisión de literatura, la cual se divide en tres núcleos temáticos, que se relacionan con el papel de las representaciones en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas y de la física, con las simulaciones computacionales en la enseñanza de las Leyes de Newton, y con el uso del DUA en la enseñanza de las matemáticas y la física con las TIC.

En el cuarto apartado se fundamenta teóricamente la investigación a partir del marco teórico. Donde se discuten diferentes perspectivas e ideas principales que conlleva la incorporación de las TIC en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Asimismo, se detallan los elementos teóricos abordados de la TASC, el DUA y el concepto de representaciones. Finalmente, se establecen relaciones entre dichos elementos para consolidar las bases del diseño de la propuesta didáctica y algunas ideas que apoyan el análisis de los resultados.

En el quinto se describe el marco metodológico, donde se indica el enfoque de investigación, el tipo de estudio, el contexto y los participantes, las consideraciones éticas, los instrumentos y técnicas para la recolección de información, la propuesta didáctica, las técnicas y procedimientos para el análisis de la información recolectada y los criterios de validez para la investigación.

En el sexto se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de la implementación de la propuesta didáctica, donde se establecen relaciones con los elementos adoptados del marco teórico en orden de lograr los objetivos de la investigación, contrastar la problemática planteada y dar respuesta a la pregunta de investigación.

En el séptimo apartado se encuentran las conclusiones, relacionadas a cada uno de los objetivos de la investigación y a la pregunta planteada al inicio del trabajo, con base en el análisis y discusión de los resultados.

En el octavo apartado se reflexiona acerca de algunas recomendaciones para futuras investigaciones similares a esta, a partir de la experiencia vivida por el investigador. Adicionalmente, se formulan diversas preguntas que pueden dar origen a nuevas investigaciones, y así, ampliar el campo de investigación relacionado con los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Finalmente, se encuentran las referencias que dan sustento a la investigación y los anexos correspondientes a los instrumentos empleados durante el desarrollo de la propuesta didáctica.

1 Planteamiento del problema

En Colombia, la educación es considerada un derecho fundamental y está garantizada por la Constitución Política de 1991. El país ha desarrollado un sistema educativo que busca garantizar el acceso a la educación para todos los ciudadanos, independientemente de su origen social, económico o cultural. El objetivo principal de este sistema es proporcionar una educación de calidad que permita a los estudiantes desarrollar sus habilidades y conocimientos para enfrentar los retos del mundo actual y futuro.

El Ministerio de Educación Nacional (MEN) es el encargado de dirigir y orientar la educación en Colombia. La Ley 115 de 1994, conocida como Ley General de Educación, es la que reglamenta las normas generales para el servicio de la educación en el territorio nacional, servicio que cumple una función social que corresponde a las necesidades e intereses de los individuos que conforman la sociedad. Dicha Ley define la educación como “un proceso de formación permanente, personal, cultural y social que se fundamenta en una concepción integral de la persona humana, de su dignidad, de sus derechos y de sus deberes.” (Ley 115, 1994, Art., 01).

Para conseguir este tipo de formación, el objetivo principal de la educación básica y media es proporcionar una formación integral que permita a los estudiantes desarrollar destrezas conceptuales y prácticas en diferentes áreas del conocimiento, así como también habilidades socioemocionales, ciudadanas, la creatividad y la capacidad para resolver problemas. Las destrezas mencionadas son de distinta índole, de lectura, escritura, lógica, política, ética, matemática, científica, entre otras. Con relación a las de orden matemático y científico, el MEN expone que ambas contribuyen al desarrollo integral de los estudiantes para que puedan asumir los retos del siglo XXI. El Ministerio opta por una educación matemática que "propicie aprendizajes de mayor alcance y más duraderos que los tradicionales, que no sólo haga énfasis en el aprendizaje de conceptos y procedimientos sino en procesos de pensamiento ampliamente aplicables y útiles para aprender cómo aprender" (MEN, 1998a, p. 18). Por otro lado, con aquellas relacionadas a las ciencias el objetivo es que

...el estudiante desarrolle un pensamiento científico que le permita contar con una teoría integral del mundo natural dentro del contexto de un proceso de desarrollo humano integral, equitativo y sostenible que le proporcione una concepción de sí mismo y de sus

relaciones con la sociedad y la naturaleza armónica con la preservación de la vida en el planeta. (MEN, 1998b, p. 66)

En este orden de ideas, se observa que la enseñanza de los campos de conocimiento científico en Colombia, como las matemáticas o la física, está diseñada para formar ciudadanos críticos y capaces de comprender el mundo que les rodea. Se busca que los estudiantes desarrollen habilidades y destrezas que les permitan analizar problemas, proponer soluciones y tomar decisiones informadas en el futuro. Esto implica no solo enseñar los conceptos elementales de la física y las matemáticas, sino también su aplicación en situaciones cotidianas. La enseñanza debe ser atractiva e interesante para los estudiantes, de modo que puedan comprender su relevancia y aplicabilidad en la vida diaria.

No obstante, la enseñanza de las matemáticas y la física se ha centrado históricamente en la transmisión de conocimientos y habilidades técnicas (Herrera et. al, 2012; Velásquez, 2014; Ordoñez et. al, 2020; Valero y González, 2020). Esta situación ha convertido algunos espacios educativos de estos campos de conocimiento en posibles generadores de negatividad en los estudiantes, alejados de los objetivos expuestos por el MEN. Con relación a este hecho, socialmente existe la percepción generalizada de que ambas áreas del conocimiento son difíciles y aburridas, lo que puede afectar la motivación y el interés de los estudiantes (Ordoñez et. al, 2020).

La causalidad de estas situaciones puede radicar en la rutina tradicional presente en las aulas de matemáticas y física; la resolución constante de ejercicios descontextualizados, el carácter formal y riguroso presente en el discurso y la práctica de la enseñanza de ambas áreas. Respecto a esta problemática, el MEN (1998b), expone que:

Muchos de los “problemas” que usualmente se trabajan en las clases de física y química, son en realidad simples ejercicios, lo cual conduce a que los alumnos prefieran un adiestramiento en técnicas que les proporcionen de modo automático la respuesta, a un razonamiento con procesos que impliquen innovación, descubrimiento, desequilibrio con los saberes previos, creatividad y, en definitiva, esfuerzo mental, y como consecuencia, muchas personas no culminan a lo largo de su vida la plena adquisición de las operaciones formales, siendo estas operaciones imprescindibles para la comprensión de un curso de ciencias a nivel medio. (p. 38)

Las consecuencias de este tipo de situaciones se han visto reflejadas en los resultados de las pruebas de Estado, donde los estudiantes obtienen bajos puntajes en las áreas de ciencias y matemáticas. En las pruebas Saber 11, realizadas por el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES) se mide el rendimiento académico de los estudiantes que se gradúan de la educación secundaria. Los resultados en ciencias y matemáticas han sido persistentemente bajos en los últimos años. Según el ICFES (2021) el resultado promedio en el área de matemáticas entre los años 2017 y 2020 fue de 52 puntos de 100 posibles. Mientras que en el área de ciencias naturales el resultado promedio fue de 50 puntos, para el mismo periodo. Estos resultados permiten observar que los estudiantes alcanzan aproximadamente la mitad de los puntos posibles, lo que deja ver la presencia de posibles dificultades en la comprensión de contenidos y procesos alrededor de ambas áreas, por parte de los estudiantes del territorio colombiano.

Una de las complejidades que tienen los alumnos para comprender los conceptos matemáticos y físicos, y la manera cómo se comportan, se encuentra en las representaciones semióticas¹ usadas en los espacios de aula de ambos campos del conocimiento. En la enseñanza tradicional de la física y las matemáticas las representaciones y modelos a menudo se presentan de manera limitada y unidimensional, lo que puede dificultar el aprendizaje de los estudiantes. Por ejemplo, se pueden presentar únicamente modelos matemáticos sin explicar cómo se relacionan con el mundo real, o se pueden presentar solo esquemas sin proporcionar una comprensión matemática completa.

En relación con esta problemática y de manera adicional, Tamayo (2006) expone que es común en la enseñanza de las ciencias el hecho de emplear diferentes representaciones semióticas; sin embargo, estas no se explican detalladamente. Debido a esto, a los estudiantes se les dificulta establecer relaciones entre los diversos registros semióticos presentes alrededor de las ideas abstractas de las matemáticas y el comportamiento de los fenómenos físicos. No obstante, es importante que los estudiantes tengan acceso a diversas representaciones, según Gamboa (2007) el trabajo con varios sistemas de representación tiene algunas potencialidades, como construir los conceptos de manera más amplia, otorgando significado al conocimiento construido. Asimismo,

¹ Hacen referencia a sistemas de expresión como números, notaciones simbólicas, gráficas, esquemas, representaciones tridimensionales, entre otras, y tienen la función de facilitar la comunicación y el trabajo con objetos de conocimiento. (Tamayo, 2006)

este autor plantea que dicho trabajo puede complementarse con la ayuda de la tecnología, en tanto herramienta dinámica de visualización y simulación, lo que permite la posibilidad de presentar rápidamente diferentes sistemas de representación para un mismo objeto de conocimiento matemático o físico.

Un ejemplo relacionado con las potencialidades mencionadas radica en la enseñanza de las Leyes de Newton. El papel que juegan las representaciones semióticas en el aprendizaje de dichas leyes es fundamental, ya que muchos de los conceptos que se abordan en su enseñanza, como la fuerza, la aceleración, los diagramas de cuerpo libre hacen uso de representaciones como los vectores, planos, ángulos, esquemas o ecuaciones. En este sentido, es importante profundizar en la variedad de registros semióticos posibles en el trabajo con estas leyes, para que el estudiante amplíe su perspectiva y así se le posibilite el camino a una comprensión más completa.

Por otra parte, y a propósito de este trabajo de investigación, la Institución Educativa Alfredo Cock Arango, ubicada en la ciudad de Medellín, es el lugar donde se realizan las prácticas por parte del investigador principal de este trabajo de grado en las áreas de matemáticas y física. La lectura del plan de estudio del área de física permite observar que la enseñanza relacionada con las Leyes de Newton está estipulada para el grado undécimo, donde se abordan ideas como la fuerza, la interacción entre objetos o el movimiento. Es pertinente mencionar que en las visitas a este centro de práctica se observó que habitualmente se opta por el uso del libro de texto como instrumento de enseñanza principal y se abordan multiplicidad de ejercicios que a menudo suelen tener un carácter abstracto para los estudiantes, en tanto no están en relación con alguna situación contextual de la vida real. La conjunción de estos elementos puede generar un posible rechazo por parte del estudiantado y el hecho de que no se logre un aprendizaje significativo, ya que se reduce el conocimiento a una información cerrada contenida en un libro de texto y no se establecen relaciones con elementos de interés para los estudiantes.

Ante este tipo de dificultades alrededor de la enseñanza de la física y las matemáticas se han propuesto varias estrategias para mejorar su calidad en Colombia, como por ejemplo: STEM+², un modelo que busca acercar la ciencia y la tecnología a los estudiantes; Ferias nacionales de Ciencias, Tecnología e Innovación, las cuales tienen como propósito promover la divulgación y valoración de la ciencia en la comunidad educativa relacionada con los niveles

² Para más información se puede acceder al siguiente enlace <https://tinyurl.com/2bspbly9>.

básico y medio, para favorecer una mayor comprensión del aspecto digital en la actualidad así como un aprendizaje significativo de las ciencias naturales; Clubes de Ciencia Colombia³, proyecto que le apuesta a una educación científica de alta calidad para jóvenes del territorio Colombia; Niños Científicos⁴, una iniciativa de la Universidad Nacional de Colombia que promueve en jóvenes la cultura de la investigación y del pensamiento crítico por medio de actividades relacionadas con la ciencia, la tecnología y la innovación.

Las anteriores estrategias apuntan a la educación básica y media, aunque también existen otras que se enfocan en la educación superior como: Todos a la U Fórmate en digital⁵, programa sobre tecnologías de la información, ofrece cursos como desarrollo de software y programación, entre otros; Runibot⁶, una red académica que integra varias universidades de Colombia interesadas en la investigación y el desarrollo de tecnologías alrededor de la robótica. Por todo lo dicho, estas estrategias exponen una tendencia en el territorio nacional por metodologías activas en los diversos niveles educativos que fomenten el aprendizaje basado en la resolución de problemas, la experimentación y la investigación, usando elementos de interés como la robótica o las ferias de ciencias.

En este orden de ideas, se ha intentado cambiar el enfoque de la enseñanza de ambos campos de conocimiento hacia uno más centrado en el estudiante y en el aprendizaje activo. Se busca que los estudiantes sean los protagonistas de su propio aprendizaje y que los docentes actúen como facilitadores de este. De esta manera, se han propuesto las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como herramientas potentes de apoyo para los ambientes de aprendizaje. El uso de recursos tecnológicos como simuladores, software de modelado y videos educativos con objetivo de enriquecer la enseñanza ha estado cada vez más presente en los espacios educativos. Respecto al campo de la educación, las TIC han sido objeto de investigación durante las últimas décadas, especialmente los años recientes con el crecimiento exponencial que se ha visto en las tecnologías digitales.

Relacionado con la idea anterior, en algunas investigaciones (Grisales, 2018; Granda et al., 2019; Pinos et al., 2020; Díaz et al., 2021; Ramírez et al., 2021) se observa que las TIC tienen

³ Para más información se puede acceder al siguiente enlace <https://tinyurl.com/27ucwelo>.

⁴ Para más información se puede acceder al siguiente enlace <https://tinyurl.com/27g9tluq>.

⁵ Para más información se puede acceder al siguiente enlace <https://unaltodosalau.com>.

⁶ Para más información se puede acceder al siguiente enlace <https://www.runibot.com>.

potencial para posibilitar metodologías de aula que causen impacto positivo en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Estas pueden generar interés y motivación en los estudiantes, en tanto les resulta novedoso el uso de algunas tecnologías como las simulaciones digitales o los videojuegos, ya que los aparta un poco de aspectos tradicionales relativos a la enseñanza de la física y las matemáticas, como la constante resolución de ejercicios.

La introducción de las TIC en la educación ha permitido la creación de una variedad de representaciones y modelos dinámicos y altamente interactivos. Estas herramientas permiten a los estudiantes interactuar con los conceptos y explorarlos en diferentes situaciones, lo que puede mejorar significativamente su comprensión. Por ejemplo, en Ocelli y Valeiras (2019) se evidencia con base en dos casos diferentes, cómo las TIC pueden potenciar los razonamientos y representaciones de los conocimientos científicos. Luego, en Salinas (2019) se menciona un tipo de tecnología en particular: las simulaciones computacionales⁷. El autor menciona que este tipo de software ofrece la posibilidad de trabajar con modelos matemáticos y físicos relacionados a un determinado fenómeno de las áreas de estudio. Además, declara que tienen el potencial de favorecer el aprendizaje de los estudiantes, ya que les permite construir representaciones más detalladas de las leyes o principios de naturaleza abstracta presentes en el trabajo con las dos disciplinas.

En el mismo sentido, existen programas de simulación como *Phet*⁸, que es un proyecto de recursos educativos abiertos sin fines de lucro. Las simulaciones presentes en esta web permiten a los estudiantes experimentar con diferentes situaciones y fenómenos alrededor de diversos contenidos de ciencias naturales, matemáticas o física, como, por ejemplo, las Leyes de Newton. Las características de las simulaciones relacionadas con este objeto de conocimiento tienen diversas potencialidades, permiten observar el comportamiento producido por la interacción entre cuerpos y fuerzas, y notar cómo al cambiar variables presentes en una situación se produce un efecto físico y matemático. Además, el uso de herramientas digitales como los simuladores y los softwares de modelado puede enriquecer la enseñanza de las matemáticas y la física, al permitir la

⁷ Hacen referencia a softwares que simulan una situación plausible en el mundo físico, sirven para conocer cuál será el comportamiento de un sistema en determinadas condiciones del mundo real, sin necesidad de que estas se produzcan de facto. Se realizan virtualmente, mediante técnicas y algoritmos matemáticos.

⁸ Proyecto de simulaciones interactivas de *PhET* de la Universidad de Colorado, crea simulaciones interactivas gratuitas de matemáticas y ciencias. Las simulaciones se basan en investigación educativa extensiva e involucran a los estudiantes mediante un ambiente intuitivo y similar a un juego, en donde aprenden explorando y descubriendo. Enlace: <https://phet.colorado.edu/es/>

exploración de fenómenos que serían difíciles de observar en el mundo real, en tanto son complejos de reproducir dinámicamente y modificar sus variables.

En particular, considerando las potencialidades mencionadas, este trabajo propone el uso de las simulaciones computacionales alrededor de la enseñanza de las Leyes de Newton como alternativa para mediar las problemáticas expuestas con anterioridad. En tanto este tipo de herramientas tecnológicas ofrecen diversas fortalezas; representan el comportamiento de situaciones de la vida real donde están involucradas las leyes de manera fácil, dinámica y controlada. Con relación a esto, Velasco y Buteler (2017) presentan una revisión bibliográfica donde exponen que la naturaleza dinámica de las simulaciones computacionales es un factor esencial que apoya a los procesos de experimentación y visualización y que ayudan al desarrollo conceptual del fenómeno estudiado. En este sentido, se pueden utilizar herramientas de simulación como *Phet* para representar visualmente cómo es el comportamiento de algunos objetos cuando están interactuando con diversas fuerzas.

Estas fortalezas permiten acercarse a las ideas presentes en el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA), un enfoque metodológico basado en la investigación para el diseño del currículo; que contempla asuntos como, objetivos educativos, métodos, materiales y evaluación, que permite a todas las personas desarrollar conocimientos, habilidades, motivación e implicación con el aprendizaje (Pastor et. al, 2014). El DUA está conformado por principios, pautas y puntos de verificación, que otorgan información para posibilitar un currículum accesible que tenga en cuenta las oportunidades de aprendizaje de todos los estudiantes.

El primer principio del DUA expone la relevancia que tiene presentar la información por medio de diversas representaciones, ya que los alumnos son diferentes en la forma en que perciben y comprenden la información que se les presenta. En este sentido, no hay un medio de representación óptimo para todos los estudiantes, por lo que es fundamental proporcionar múltiples opciones al ofrecer la información. Con esta idea se busca propiciar un trabajo con un grado de accesibilidad considerable para los estudiantes, y potenciar el conocimiento que puedan construir desde su autonomía e interacción con las simulaciones computacionales.

Con relación a las Leyes de Newton, el enfoque DUA puede ser una estrategia efectiva para posibilitar la inclusión y el aprendizaje significativo de todos los estudiantes, independientemente de sus habilidades y estilos de aprendizaje. Por ejemplo, en la representación, se pueden utilizar diferentes medios para presentar la información relacionada con el sonido, como

videos, gráficos, simulaciones, experimentos y audios. De esta manera, los estudiantes pueden acceder a la información de acuerdo con sus preferencias y necesidades, y así posibilitar una mejor comprensión sobre los conceptos y procesos relacionados con las Leyes de Newton.

A parte de todo lo mencionado anteriormente, es necesario decir que las Leyes de Newton son un objeto de estudio que se ha abordado ampliamente desde este tipo de trabajos de investigación que tienen relación con el campo educativo. Para ilustrar esto, las investigaciones de Bustamante (2012), Moreno y Martínez (2017), Guisasola et. al (2019), Vargas (2020), Jaramillo et. al (2021) y Sandoval (2021) permiten ver que hay una tendencia en que los investigadores tengan como objetivo describir únicamente el rendimiento académico⁹ que tienen los estudiantes participantes de las investigaciones después de haber aplicado una unidad didáctica para la enseñanza de las Leyes de Newton, ya sea con o sin uso de las TIC. Para verificar este rendimiento en los estudiantes, las investigaciones mencionadas hacen uso de metodologías de tipo cuantitativo, con elementos como el pretest y postest aplicados en grupos experimentales y de control.

Esta situación, además de ofrecer una visión limitada de los procesos de enseñanza y aprendizaje al reducirlos a cifras numéricas, no se corresponde con los planteamientos y objetivos del MEN, los cuales fueron mencionados al principio de este apartado. En tanto las investigaciones están caracterizadas por una inclinación al aprendizaje de procedimientos para la resolución de ejercicios y no en una formación integral para los estudiantes que les permita desarrollar el pensamiento científico y crítico para comprender el mundo que les rodea.

En tal sentido, y en orden de explorar otros aspectos que aún no han sido abordados en el campo investigativo, este trabajo se propone estudiar los procesos de aprendizaje que tienen los estudiantes en relación con las Leyes de Newton, pero específicamente alrededor de las representaciones que construyen sobre las mismas.

En virtud de todo lo anterior, el presente trabajo está orientado a responder la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera una propuesta didáctica fundamentada en la TASC y el DUA apoyada en simulaciones computacionales favorece la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton por parte de los estudiantes del grado décimo de la Institución Educativa Alfredo Cock Arango?

⁹ Las investigaciones relacionan este concepto con las notas cuantitativas obtenidas por los estudiantes participantes de las investigaciones en diversas pruebas.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Analizar las representaciones que construyen los estudiantes sobre las Leyes de Newton a partir de una propuesta didáctica fundamentada en la TASC y el DUA apoyada en simulaciones computacionales.

2.2 Objetivos específicos

- Establecer la relación entre los principios de la TASC y los principios fundamentales del DUA como base para el diseño de una propuesta didáctica para el aprendizaje de las Leyes de Newton.
- Identificar el aporte que tiene el uso de diversas estrategias y materiales de enseñanza para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton.
- Describir las representaciones que los estudiantes construyen sobre las Leyes de Newton a partir de la propuesta didáctica.

3 Revisión de literatura

En este apartado se exponen inicialmente los resultados obtenidos de una revisión de literatura enmarcada en tres núcleos temáticos en relación con la investigación: *papel de las representaciones en la enseñanza de las matemáticas y la física en educación media, simulaciones computacionales en la enseñanza de las Leyes de Newton y uso del DUA como enfoque metodológico en la educación de las matemáticas y la física con TIC*. El establecimiento de estos núcleos se realiza con el fin de observar el estado actual sobre investigaciones relacionadas a las problemáticas que se describen en este proyecto.

En relación con esta sección, es pertinente mencionar que se realizó una revisión de literatura fundamentada en las ideas propuestas por Hoyos (2000), donde se caracteriza al estado del arte como un proceso sistemático de búsqueda y análisis de textos que tiene como fin dar cuenta de la investigación que se ha realizado sobre un tema central.

Para realizar la búsqueda se usaron bases de datos como: Red de Revistas Científicas RedALyC, SCIELO - Scientific Electronic Library Online, Dialnet y Google Académico. Para la selección de documentos se tuvo en cuenta un periodo comprendido entre 2018 y 2023. Principalmente se escogieron artículos de investigación relacionados con los núcleos temáticos presentados anteriormente, y se descartaron trabajos de grado o de maestría. Se consideraron ideas clave como “representaciones en la enseñanza de las matemáticas y la física”, “simulaciones computacionales en Leyes de Newton”, “enseñanza de las matemáticas”, “enseñanza de la física”, “herramientas TIC en educación matemática o de la física”, “DUA en educación matemática o de la física apoyado con las TIC”, “enseñanza de las Leyes de Newton”.

Las ecuaciones de búsqueda fueron: Representaciones+Modelos+Enseñanza+Matemáticas+Física -"Educación Física", ((“Representaciones” OR “Modelos”) AND Enseñanza AND (“Matemáticas” OR “Física”)), ((“Simulaciones Computacionales” OR “Simuladores Computacionales” OR “Simulaciones” OR “Simuladores” OR “Simulaciones Virtuales” OR “Simuladores Virtuales”) AND (“Leyes de Newton” OR “Ley de Newton”)), ((“DUA” OR “Diseño Universal para el Aprendizaje”) AND (“Matemáticas” OR “Física”) AND (“TIC” OR “Tecnologías de la Información”)).

Como resultado de estos criterios, se encontraron artículos publicados en 19 revistas (13 internacionales y seis nacionales). Además, se tuvieron en cuenta cinco ponencias realizadas en congresos. Toda esta información se presenta en la **Tabla 1**.

Tabla 1
Revistas a las que pertenecen los trabajos para la revisión de literatura

Base de datos	Nombre de la Revista o Congreso	País	Artículos Seleccionados
Google Académico SCIELO	Revista CONRADO	Cuba	1
Google Académico RedALyC SCIELO Dialnet	Revista Virtual Universidad Católica del Norte	Colombia	1
Google Académico	Eco Matemático	Colombia	1
Google Académico SCIELO	Bolema	Brasil	1
Google Académico SCIELO Dialnet	Revista Electrónica de Investigación Educativa	México	1
Google Académico	El Cálculo y su Enseñanza, Enseñanza de las Ciencias y la Matemática	México	1
Google Académico Dialnet	Revista do Instituto GeoGebra de São Paulo	Brasil	1
Google Académico	Revista de Enseñanza De La Física	Argentina	2
Google Académico Dialnet	Revista Innova Educación	Perú	1
Google Académico Dialnet	Latin-American Journal of Physics Education	México	1
Google Académico	Ingeniería E Innovación	Colombia	1
Google Académico	Assensus, Revista de Investigación educativa y pedagógica	Colombia	1
Google Académico Dialnet	Revista Ciencias de la Educación	Venezuela	1
Google Académico Dialnet	Bio-grafía	Colombia	1

Base de datos	Nombre de la Revista o Congreso	País	Artículos Seleccionados
Google Académico	International Humanities Review / Revista Internacional de Humanidades	España	1
Google Académico RedALyC SCIELO Dialnet	Revista de Estudios y Experiencias en Educación	Chile	1
Google Académico	Revista Espacios	Venezuela	1
Google Académico Dialnet	Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias	Colombia	1
Google Académico SCIELO Dialnet	Información Tecnológica	Chile	2
Google Académico	XVI Congreso Nacional de Investigación Educativa	Colombia	1
Google Académico	CIAEM XV Conferencia Interamericana de Educación Matemática	Colombia	1
Google Académico	X Congreso Internacional sobre Enseñanza de las Matemáticas	Perú	1
Google Académico	X Congreso Internacional sobre Aplicación de Tecnologías de la Información y Comunicaciones Avanzadas	Argentina	1
Google Académico	VI Jornadas Nacionales. IV Jornadas Latinoamericanas de Investigadores/as en Formación en Educación	Argentina	1

Para el análisis de los trabajos seleccionados se tuvieron en cuenta los núcleos mencionados en la **Tabla 2**.

Tabla 2
Núcleos temáticos para la revisión de literatura

Núcleos Temáticos	Subcategorías	Autores
1. Papel de las representaciones en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas y la física en educación media.	1.1 Representaciones en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas	Angulo y Arteaga, (2018); Benítez y Zepeda, (2018); Porras, (2019); Téllez y Pineda, (2019); Hernandez et. al, (2021); De la Fuente y Deulofeu, (2022)
	1.2 Representaciones en la enseñanza y aprendizaje de la física	Castrillón et. al, (2020); Flores et. al, (2020); Ortiz et. al, (2020); Villamizar, (2020); Mosquera y Londoño, (2021); Baudino et. al, (2022)

Núcleos Temáticos	Subcategorías	Autores
2. Simulaciones computacionales en la enseñanza de las Leyes de Newton.		Bentivenga et. al, (2018); Castellón et. al, (2019); Olave et. al, (2019); Barragán, (2020); Gutiérrez et. al, (2020); Taípe et. al, (2020); Henao et. al, (2021); Imbert, (2022); Iriarte et. al, (2022)
3. Uso del DUA como enfoque metodológico en la enseñanza de las matemáticas y la física con apoyo de TIC.	3.1 DUA como enfoque metodológico en la enseñanza de las matemáticas con apoyo de TIC	Zamora et. al, (2017) ¹⁰ ; Lagos, (2018); Gutiérrez et. al, (2020); Rodríguez y Roldán, (2022)
	3.2 DUA como enfoque metodológico en la enseñanza de la física con apoyo de TIC	Sanhueza et. al, (2018); Barrón y Ramírez, (2021)

Se puede evidenciar en la **Tabla 2** que para el primer núcleo temático se encontraron 12 trabajos relacionados, ocho en el segundo y seis en el tercero. A continuación, se exponen los hallazgos para cada uno de ellos.

3.1 Papel de las representaciones en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas y la física en educación media

Con relación a este núcleo temático, el objetivo con la búsqueda fue determinar qué roles tienen las representaciones en algunas investigaciones recientes que abordan de alguna manera el concepto de representación en la enseñanza de las matemáticas y la física. Para describir los resultados de las unidades de análisis seleccionadas se presentan primero los que están relacionados con las matemáticas, y posteriormente, aquellos con física.

Antes de entrar en detalle, es pertinente mencionar que originalmente el núcleo temático tenía como objetivo centrarse en documentos que abordan las representaciones en la enseñanza de las matemáticas y la física en educación media. Sin embargo, en la búsqueda realizada en las bases de datos solo se encontraron tres artículos relacionados con este nivel educativo. Con esto en cuenta, el autor de esta investigación opta por ampliar el rango de búsqueda y acoger investigaciones realizadas en educación secundaria.

¹⁰ Se consideró este documento a pesar de que su fecha de publicación es antes de 2018, en tanto está relacionado con los contenidos de este núcleo temático.

3.1.1 Representaciones en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas

A raíz del análisis de los documentos seleccionados se exponen diversos hallazgos.

En Angulo y Arteaga (2018), Benítez y Zepeda (2018), Porras (2019), Téllez y Pineda (2019), Hernandez et. al (2021), De la Fuente y Deulofeu (2022) se expone que las representaciones juegan un papel esencial en la construcción y comprensión de los conceptos matemáticos. En tanto las representaciones son las herramientas con las cuales cada estudiante, de manera individual, interactúa con el campo de las matemáticas.

A pesar de coincidir en la idea anterior, los documentos seleccionados abordan de manera general dos sentidos diferentes en cuanto a las representaciones. En primer lugar, se encuentran las representaciones mentales que se abordan en Angulo y Arteaga (2018), Benítez y Zepeda (2018), caracterizadas por ser las construcciones que cada estudiante ha generado internamente a lo largo de su recorrido como aprendiz, tanto en la vida como en el campo de las matemáticas, y que están relacionadas con la manera en que percibe el mundo de manera particular. En segundo lugar, en Porras (2019), Téllez y Pineda (2019), Hernandez et. al (2021), y De la Fuente y Deulofeu (2022) se observa una visión de las representaciones que está relacionada a lo externo, es decir, concebidas como las gráficas, signos, dibujos, símbolos, esquemas, entre otros tipos, que están presentes en el uso de las matemáticas.

Aunque las investigaciones abordan sentidos diferentes de las representaciones, dan cuenta de puntos en común. Por ejemplo, en Angulo y Arteaga (2018), Benítez y Zepeda (2018), y Téllez y Pineda (2019) se menciona que las representaciones caracterizan y estructuran el conocimiento previo que tiene un estudiante de un objeto de conocimiento. En ese sentido, los autores exponen cómo las representaciones previas pueden obstaculizar la construcción de nuevos aprendizajes, en tanto los conceptos matemáticos hacen parte de un campo conceptual y no son independientes entre sí. Argumentan que la forma cómo el estudiante construyó esas representaciones influye en dos aspectos; la manera en que concibe los objetos matemáticos y el proceso de interactuar con nuevas representaciones. Mencionan que, si esas representaciones son ampliamente diferentes a las establecidas previamente, puede generarse una desconexión representacional, lo que implica una dificultad en la comprensión conceptual por parte del estudiante.

En relación con ese momento de ruptura en cuanto a las representaciones, en Benítez y Zepeda (2018) se dice que es necesario para generar nuevos conocimientos, que, a su vez, implican nuevas representaciones más complejas. Al respecto de esto Benítez y Zepeda (2018) y De la

Fuente y Deulofeu (2022) resaltan el rol del docente en ese proceso. Según los autores, este debe otorgar un espacio abierto de diálogo que brinde a los estudiantes la posibilidad de conectar las nuevas representaciones con aquellas que ya conocen, de esta manera puede facilitarse el proceso de reconstrucción del conocimiento.

Otro aspecto importante en el que las investigaciones coinciden es en las implicaciones que tiene el uso de múltiples representaciones. En Benítez y Zepeda (2018), Porras (2019) y Hernandez et. al (2021) se menciona que es trascendental el proceso mediante el cual se cambia una representación por otra. Los autores dicen que es necesario que se establezcan relaciones entre ambas, las representaciones deben mostrar un orden interno y estar fuertemente articuladas. Según Angulo y Arteaga (2018) y Hernandez et. al (2021), estas relaciones pueden establecerse mediante situaciones problema que resulten interesantes para los estudiantes, a la par que posibilitan el uso de esas diversas representaciones. De esta manera, dar cuenta de cómo las características y la resolución de la situación problema se mantienen a pesar del uso diverso de representaciones.

A propósito de la diversidad de representaciones mencionada, algunas investigaciones como Benítez y Zepeda (2018), Porras (2019), Hernandez et. al (2021) y De la Fuente y Deulofeu (2022) declaran que al emplear múltiples representaciones en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los objetos de conocimiento matemático se posibilita un trabajo con mayor profundidad. Los autores argumentan que, gracias a la diversidad de representaciones, los estudiantes tienen la posibilidad de comprender las propiedades comunes entre estas, esto les permite consolidar los conocimientos y reconstruirlos. Relacionado con este argumento, en Angulo y Arteaga (2018) y Porras (2019) se menciona que la habilidad para cambiar y manipular diferentes representaciones de manera apropiada es evidencia de una efectiva comprensión del objeto matemático por parte de los estudiantes.

A manera de cierre, se observa una tendencia en las investigaciones a mencionar que es necesario establecer conexiones entre las variadas representaciones que tienen los objetos de conocimiento matemático. En el sentido de que existe una relación directa entre las habilidades para manipular múltiples representaciones y la comprensión de los conceptos matemáticos.

Para promover las habilidades para establecer relaciones entre diversas representaciones, este trabajo de investigación pretende presentar a los estudiantes múltiples formas de representación de las Leyes de Newton, ya sea por medio de simulaciones computacionales, experimentos con material físico o situaciones problema de interés para los estudiantes. Un eje

para acompañar estos procesos es la articulación entre la situación física abordada y los modelos matemáticos que ilustran el comportamiento de esta, caracterizados por hacer uso de gráficos, ecuaciones, vectores o diagramas. En este sentido, se establecerán relaciones entre los distintos objetos representacionales de las matemáticas y la situación real física.

3.1.2 Representaciones en la enseñanza y aprendizaje de la física

Después de la lectura de las unidades de análisis se exponen los siguientes hallazgos.

En Flores et. al (2020) se observa que el concepto de representación está caracterizado por ser una estructura mediante la cual los estudiantes pueden interactuar con aquello que está representado. A partir de dicha representación, el estudiante tiene la posibilidad de establecer propiedades y relaciones del fenómeno representado, con el objetivo de realizar predicciones con su debida argumentación. Esta idea está en correspondencia con lo expuesto en Mosquera y Londoño (2021), ya que mencionan que las representaciones están asociadas con las habilidades para reconocer relaciones entre los objetos o fenómenos y las formas en que son representados.

Adicionalmente, según Flores et. al (2020) y Villamizar (2020), la importancia de las representaciones radica en las potencialidades mencionadas para establecer relaciones alrededor de los fenómenos físicos. Los autores exponen que el uso de diversas representaciones alrededor de un mismo fenómeno es fundamental para la adquisición conceptual, debido a que los conceptos tanto físicos como matemáticos se manifiestan a través de los diversos registros de representación. Particularmente, en Flores et. al (2020) se expande esta idea, declaran que las representaciones son los elementos mínimos que los estudiantes necesitan para poder interactuar con el entorno, en este caso los fenómenos físicos.

En Castrillón et. al, (2020) se reporta una investigación realizada con base en los procesos de experimentación y modelación. Los resultados obtenidos reflejan cómo las prácticas experimentales posibilitan a los estudiantes construir representaciones que dan cuenta de las relaciones entre variables de un fenómeno físico. Sin embargo, concluyen que los estudiantes tienen dificultades para entrelazar los conceptos y modelos matemáticos con el fenómeno físico, no hay una comunicación apropiada y profunda entre ambas disciplinas.

Además de esta problemática, en Mosquera y Londoño (2021) exponen que dentro de los procesos de enseñanza de la física se comete el error de creer que los estudiantes entienden las representaciones y sus implicaciones de manera directa. Al respecto, Villamizar (2020) menciona

que se debe dar un espacio de interpretación de las representaciones mediado por el docente. Mientras que en Flores et. al (2020) se dice que en la enseñanza de la física se deben hacer explícitas las descripciones y características de los elementos presentes en las representaciones.

Por otro lado, en Ortiz et. al (2020) se expone una investigación con un enfoque metodológico mixto, en la que se aborda el concepto de caída libre y que estuvo apoyada por herramientas como *Tracker* y *Geogebra*. Los resultados de un pretest usado en el proceso dan cuenta de que el 95% de los estudiantes presentó dificultad para establecer cuál es la gráfica de posición en función del tiempo en el movimiento de caída libre. A raíz del proceso mediado por la experimentación y las herramientas digitales se hizo posible presentar a los estudiantes representaciones dinámicas para las gráficas de posición y velocidad en función del tiempo. Luego, en los resultados del postest alrededor de un 70% de los participantes establecieron adecuadamente las gráficas antes mencionadas. Debido a este resultado, los autores mencionan que las múltiples representaciones que pueden ofrecer las tecnologías tienen el potencial de favorecer la comprensión por parte de los estudiantes.

Por su parte, en Baudino et. al (2022) se expone que el trabajo con el programa *Tracker* puede ayudar a los estudiantes en la construcción de representaciones. Sin embargo, los resultados denotan que los estudiantes replican las gráficas del programa, sin profundizar en los detalles que estas ofrecen. Por lo que no hay evidencia de cómo fue el proceso de reconstrucción conceptual a partir de las nuevas representaciones. Esta situación está en correspondencia con lo mencionado en Castrillón et. al (2020) y Ortiz et. al (2020), ya que los autores problematizan que con relación a los trabajos con representaciones habitualmente se ignoren los significados e implicaciones que tienen estas con el fenómeno físico que están representado, por lo que no hay un establecimiento de relaciones.

En consecuencia, se puede establecer una diferencia de esta subcategoría con la que está en relación con las matemáticas. Las representaciones no son un concepto en el cual se profundice en los trabajos seleccionados respecto a la enseñanza de la física. En las investigaciones se tiende a presentar los fenómenos físicos con diversas representaciones sin profundizar en detalle, por lo que no se ahonda en las implicaciones de esa multiplicidad de representaciones. Los pocos que sí la abordan con un poco más de profundidad, hacen alusión a las matemáticas presentes dentro de la física. De esta manera, se concluye que hace falta investigación alrededor de cómo influyen las representaciones en la enseñanza de la física.

Finalmente, de este núcleo temático se pueden decir dos cosas. Primero, es posible concluir que es necesario ahondar en investigaciones enfocadas en los estudiantes que están finalizando su etapa escolar, grados décimo o undécimo. En segundo lugar, en relación con los objetivos de la presente investigación acerca de las representaciones alrededor de las Leyes de Newton, es fundamental presentar a los estudiantes diversos modos de representación, pues amplían las características de estas Leyes a los estudiantes, lo que puede favorecer una comprensión más amplia de las mismas.

Para posibilitar lo anterior, y como se mencionó en el planteamiento del problema, este trabajo pretende abordar el DUA, y de manera esencial el principio que hace referencia a proporcionar múltiples formas de representación. Con esto en mente, se hace necesario presentar a los estudiantes las Leyes de Newton a través de diversos medios, como lo pueden ser vídeos, experimentos caseros, simulaciones computacionales, modelos simbólicos o dibujos, sin dejar de lado lo fundamental que es establecer conexiones entre los diferentes modos de representación. De esta manera, se presentan las características de las leyes desde múltiples puntos de vista y se amplían las posibilidades de comprensión para los estudiantes, en tanto cuentan con diferentes modos de percibir y comprender la información con mayor facilidad.

3.2 Simulaciones computacionales en la enseñanza de las Leyes de Newton

Con relación al segundo núcleo temático, el objetivo con la búsqueda es determinar qué tipo de simulaciones computacionales se han utilizado en la enseñanza de las Leyes de Newton, cuál fue el objetivo de usar estas herramientas digitales, qué fundamentos teóricos y metodologías se abordan para justificar los resultados de las investigaciones.

Es pertinente mencionar que en el proceso de búsqueda se encontraron diversos trabajos de grado y maestría que abordaban las simulaciones computacionales como recurso didáctico para construir estrategias de enseñanza de las Leyes de Newton. Una breve lectura de dichos trabajos permite observar una tendencia al enfoque cuantitativo y notar que ninguna de ellas estaba aparentemente centrada en las representaciones de las propias Leyes de Newton.

En cuanto a la implementación de las simulaciones como herramientas digitales, en la **Tabla 3** se presentan los tipos de simulaciones computacionales que fueron utilizados en los trabajos encontrados.

Tabla 3*Simulaciones computacionales utilizadas en la enseñanza de las Leyes de Newton*

Tipo de Simulación Computacional	Autores	Metodología
Interactive Physics	Taipe et. al, (2020)	Cuantitativa
OVA - Movimiento Circular Uniforme	Castellón et. al, (2019)	Sin especificar
Phet: Fuerza y Movimiento	Imbert, (2022)	Cuantitativa
EduNewton	Olave et. al, (2019)	Cuantitativa
No se especifica	Bentivenga et. al, (2018)	Cuantitativa
Phet	Iriarte et. al, (2022)	Cuantitativa
Phet: Fuerza y Movimiento	Barragán, (2020)	Sin especificar
Phet	Henao et. al, (2021)	Cualitativa

A partir de la lectura de los documentos encontrados se observa que en Bentivenga et. al (2018), Olave et. al (2019), Taipe et. al (2020), Imbert (2022) e Iriarte et. al (2022) hay una tendencia a usar metodología con enfoque cuantitativo, los autores usan técnicas como el pretest y postest, así como la asignación de un grupo control y otro experimental. Mientras que en Henao et. al (2021) se hace uso de una metodología de tipo cualitativa donde se opta por la observación participante por parte de los investigadores y el diálogo con los sujetos participantes de la investigación.

Otro aspecto para destacar de las investigaciones son los fundamentos que se utilizan para abordar las simulaciones computacionales en la enseñanza de las Leyes de Newton. Al respecto, en Bentivenga et. al (2018), Castellón et. al (2019), Imbert (2022) e Iriarte et. al (2022) se hace alusión a cómo los métodos educativos han de evolucionar conforme lo hace la sociedad. En este sentido, el uso de las TIC representa un potencial respecto al proceso de enseñanza tal y como se declara en Iriarte et. al (2022) por medio de la utilización de las simulaciones y laboratorios virtuales se obtienen ventajas como la practicidad y accesibilidad. Entendidos estos elementos como la posibilidad de repetir una y otra vez las situaciones de los simuladores de manera fácil y rápida.

Por su parte, en Castellón et. al (2019) y Olave et. al (2019) se dice que a los estudiantes se les dificulta representar las fuerzas que actúan en un sistema, por lo que se argumenta que los elementos gráficos contribuyen a representar las fuerzas presentes en una situación real de manera

amena y dinámica. Mientras que Imbert (2022) habla del uso de simuladores como estrategias que permiten evadir la educación tradicional de tablero y que otorgan lúdica al espacio educativo.

Luego, en un plano más relacionado a lo teórico, en Bentivenga et. al (2018) e Iriarte et. al (2022) se enuncian ideas relacionadas al constructivismo y los entornos sociales. El conocimiento es producto de la interacción entre los estudiantes, los saberes previos con los que cuentan y el medio o entorno en el que se encuentran inmersos. Sin embargo, las investigaciones no profundizan en estos apartados teóricos de fundamentación, el análisis se enfoca en el apartado cuantitativo de los test realizados a los estudiantes. Por ejemplo, en Imbert (2022), se declara que el objetivo principal de una estrategia didáctica, como lo puede ser el apoyo de simulaciones, es reducir las tasas de fracaso en la disciplina de la física, es decir, aumentar los valores numéricos de los resultados de los estudiantes.

En cuanto a los resultados obtenidos en las investigaciones, en Taípe et. al (2020) se concluye a través de una prueba de salida, que el grupo experimental, con el cual se usó la simulación *Interactive Physics*, consiguió un rendimiento académico mayor que el grupo control. Esto fue medido con el uso de escalas de puntuación, la diferencia fue que en el grupo experimental 13 estudiantes sacaron una nota mayor a 13/20, en contraste con los nueve del grupo de control. De manera similar, en Bentivenga et. al (2018) e Imbert (2022) se concluye que el uso de las simulaciones tiene un efecto positivo en las competencias de los estudiantes. Esto lo argumentan debido a que en ambas investigaciones los participantes obtuvieron resultados en la prueba de evaluación cercanos a un poco más del doble de lo obtenido en la prueba de diagnóstico.

Por otra parte, algo a destacar en Iriarte et. al (2022) es que además de usar una metodología con enfoque cuantitativo, también realizaron entrevistas a los participantes. Los autores declaran evidenciar que gracias a las simulaciones se puede ayudar al desarrollo de procesos cognitivos y de competencias científicas en los estudiantes, las cuales están relacionadas con las Leyes de Newton. Además, destacan que el uso de herramientas digitales permite generar motivación en los participantes.

A modo de síntesis, los hallazgos obtenidos en este núcleo temático permiten concluir dos ideas. En primer lugar, bajo una fundamentación superficial de las TIC, las investigaciones exponen que el apartado interactivo de las simulaciones articula posibilidades para que los estudiantes interactúen con fenómenos físicos de manera controlada, rápida y dinámica. En este sentido, pueden replicar situaciones que de otra manera no sería posible, en tanto no se tendrían

las herramientas necesarias para recrearlas con material físico. Por lo que gracias a las simulaciones se pueden modificar las variables presentes en el fenómeno estudiado y observar cuáles son las implicaciones de estas variaciones. Debido a lo anterior se consigue una expansión en cuanto a las características del fenómeno físico, lo que puede posibilitar una mejora en su apropiación conceptual y sobre cómo las Leyes de Newton se presentan en dicho fenómeno.

En segundo lugar, se puede observar que las investigaciones concluyen que el uso de las simulaciones computacionales puede implicar una mejora en el rendimiento de los estudiantes, debido al crecimiento de los resultados en el posttest, en comparación a los obtenidos en el test de diagnóstico. Sin embargo, no profundizan en las razones por las cuales el objeto concreto de la simulación computacional haya sido la razón específica de la mejora de los participantes en cuanto a los conceptos de las Leyes de Newton.

En este orden de ideas, los resultados de este núcleo temático aportan a este trabajo en tanto permiten establecer decisiones para el desarrollo de la investigación. En primera instancia, las simulaciones computacionales que se usen deben contar con una interfaz adecuada que permita a los estudiantes interactuar con ellas de manera fácil, rápida y dinámica. Segundo, las simulaciones seleccionadas deben ofrecer al máximo la posibilidad de interactuar con la situación física de tal forma que las variables implicadas puedan modificarse, para observar los resultados de dichas modificaciones y así establecer relaciones de implicación. Por último, es importante indagar sobre cómo influye realmente el uso de las simulaciones computacionales en el proceso de aprendizaje de los estudiantes, por lo que no se debe limitar la valoración de esta tecnología a resultados numéricos de tests. Por lo tanto, es favorable optar por otros medios que permitan un acercamiento a cómo los estudiantes interactúan con las simulaciones y qué les aportan dichas tecnologías, por ejemplo, entablar diálogos con ellos por medio de entrevistas.

3.3 Uso del DUA como enfoque metodológico en la enseñanza de las matemáticas y la física con apoyo de TIC

Respecto a este núcleo temático, el objetivo con la búsqueda es determinar qué características del DUA en conjunción con las TIC han tenido en cuenta las investigaciones recientes en la enseñanza de las matemáticas y la física. Sin embargo, son pocos los documentos encontrados que aborden simultáneamente el enfoque DUA, las TIC y el aspecto disciplinar de las matemáticas o la física.

En particular, con el área de las matemáticas se encontraron tres documentos que abordaban los dos primeros aspectos, DUA y TIC, sin embargo, el tratamiento que se le hace a las TIC en estos no es profundo. Respecto al área de la física, no se encontró ninguna investigación que haga referencia al uso conjunto del DUA y las TIC de manera directa, por lo que para la revisión de este núcleo temático se escogieron dos documentos. Uno que aborda el DUA de manera directa y las TIC de manera indirecta, y el otro aborda la idea de las tecnologías y cómo estas pueden apoyar los procesos de inclusión en la enseñanza de la física.

3.3.1 DUA como enfoque metodológico en la enseñanza de las matemáticas con apoyo de TIC

Como primer hallazgo se encuentra en Gutiérrez et. al (2020) un trabajo caracterizado por ser de tipo investigación-acción, en tanto se buscaba mejorar la práctica docente de un curso relacionado a las matemáticas, con base en los principios y pautas del DUA. El uso de las tecnologías se enfocó con el sentido de ofrecer múltiples formas de representación y de acción, por medio de material audiovisual y foros respectivamente.

En relación con los resultados de la investigación, los autores se basan en las valoraciones de los participantes respecto al proceso. Concluyen que la implementación con base en el DUA favoreció al aprendizaje y participación de los estudiantes, quienes valoraron en mayor medida al material manipulativo y audiovisual, en tanto resultan estrategias de enseñanza diversas.

Por otro lado, en Lagos (2018) se expone el proceso de integración del DUA a una unidad de aprendizaje relacionada con la geometría. Para esto, la autora declara la importancia de realizar un proceso de investigación respecto a los estudiantes participantes en el trabajo. Realiza un énfasis en la pertinencia de saber cómo perciben la información, las formas en que actúan sobre ella y qué les interesa en el proceso de aprendizaje. A partir de esa información, la autora en compañía del docente oficial del curso establece los objetivos de la unidad didáctica en correspondencia con las pautas del DUA, por lo que toma en cuenta el contexto de los participantes.

En cuanto a las tecnologías digitales en el proceso de integración de Lagos (2018), la autora expone que se hace uso de diapositivas y de la aplicación *GeoGebra*. Sin embargo, no hay información sobre qué implicaciones o características tuvo el trabajo con la ayuda de estas herramientas. Por lo que no se caracteriza cómo la aplicación favoreció a la enseñanza de las matemáticas.

De manera similar, Rodríguez y Roldán (2022) abordan un trabajo relacionado a un curso online de olimpiadas matemáticas. El argumento mediante el cual relacionan el DUA con las TIC son las potencialidades de las tecnologías para ofrecer múltiples representaciones para un mismo objeto. Hacen uso de material audiovisual y portales de visualización e interacción como *Genially*, declarando que estos medios posibilitan a los estudiantes un mejor acercamiento a los conocimientos matemáticos. Los autores argumentan que la educación en épocas actuales se ha digitalizado, por lo que los docentes han de recurrir a nuevas estrategias, con objetivo de facilitar a los estudiantes la presentación y comprensión de contenidos.

Por su parte, en Zamora et. al (2017) se busca diseñar e implementar un recurso educativo virtual que trabaja el concepto del plano matemático en conjunto con las directrices del DUA. Sin embargo, y al igual que en Rodríguez y Roldán (2022), el trabajo se focaliza en las posibilidades de representación que ofrece la herramienta digital, por lo que se dejan de lado los principios del DUA relacionados al compromiso o motivación y acción y expresión.

Finalmente, con relación a los hallazgos encontrados, se puede mencionar que las investigaciones abordadas no ofrecen herramientas amplias para dar cuenta del DUA como enfoque metodológico en la enseñanza de las matemáticas en conjunción con las TIC. Sin embargo, relacionan el DUA con la manera en que el espacio y situaciones de clase son abordadas, independientemente de estar enfocado a las matemáticas.

3.3.2 DUA como enfoque metodológico en la enseñanza de la física con apoyo de TIC

En las investigaciones de Sanhueza et. al (2018) y Barrón y Ramírez (2021) se toma como punto de partida los procesos de inclusión en la enseñanza, en tanto buscan una educación universal que acoja dos elementos, las características de la mayor cantidad de estudiantes posible y ser accesible de igual manera para todos. Además, argumentan que la sociedad avanza considerablemente en aspectos tecnológicos, por lo que la educación ha de corresponderse con esa evolución.

De manera particular, en Sanhueza et. al (2018) se implementaron unidades didácticas basadas en el uso de las TIC en dos grupos de estudiantes. Uno con necesidades educativas

especiales¹¹ y otro sin ellas. El proceso incluía el uso de entornos virtuales de aprendizaje, simuladores, animaciones y material audiovisual, con el objetivo de ampliar las estrategias de enseñanza.

Para evaluar el proceso realizado, los autores establecen una comparativa entre un pretest y un postest. Declaran que para el grupo con necesidades educativas especiales se obtuvo un 59% de aprobación a comparación del 35% que habían obtenido antes. Mientras que para el grupo sin las necesidades educativas especiales el cambio fue de 45% a 54%. De esta manera, concluyen que la ayuda de las TIC en clases de física, como herramientas para potenciar la inclusión, muestra ser favorable en el proceso de enseñanza de los docentes y de aprendizaje para los estudiantes.

Por otro lado, en Barrón y Ramírez (2021) se expone un modelo basado en los principios del DUA para aplicar a la enseñanza de la física. Bajo el argumento de que los docentes en ciencias deben tener las herramientas mínimas para abordar procesos de universalización educativa. El modelo está constituido por siete ideas o pasos fundamentales, que son: establecer metas, identificar problemáticas para un contenido, seleccionar recursos didácticos, fortalecer las funciones ejecutivas, motivar a los estudiantes, monitorear avances y el aspecto evaluativo.

Los autores establecen la pertinencia de usar las TIC en el proceso de uso de dicho modelo, en tanto posibilitan proporcionar diversas formas de representación, implicación y motivación. Ejemplifican lo anterior al exponer dos puestas en acción del modelo, donde se hace uso de simuladores y plataformas virtuales. Sin embargo, la investigación no ofrece más detalles al respecto de la relación entre el DUA y las TIC puestas en práctica para la enseñanza de la física.

Para realizar un cierre al núcleo temático es necesario decir que entre los hallazgos obtenidos en la búsqueda se observa mayor uso del DUA en el área de las matemáticas, mientras que las investigaciones recientes en la enseñanza de la física no abordan dicho enfoque metodológico de manera directa.

Adicionalmente, se puede mencionar que las investigaciones seleccionadas no abordaron con amplio detalle la enseñanza de las matemáticas y la física con el DUA como enfoque metodológico apoyado en las TIC. Por lo que se concluye que este trabajo de investigación puede

¹¹ Existen diversas interpretaciones para este concepto, en particular, en la investigación de Sanhueza et. al (2018) este concepto se refiere a dificultades de tipo intelectual, sensorial y las relacionadas con la sociabilización y comunicación; entre ellas, el trastorno por déficit atencional (TDA), trastorno del espectro autista (TEA) y discapacidad intelectual.

aportar al campo de la investigación en enseñanza de ambas disciplinas al abordar de manera conjunta dichos aspectos.

3.4 A modo de cierre

En orden de realizar reflexiones para el presente trabajo de investigación, se pueden establecer conexiones entre los resultados generales de los núcleos temáticos.

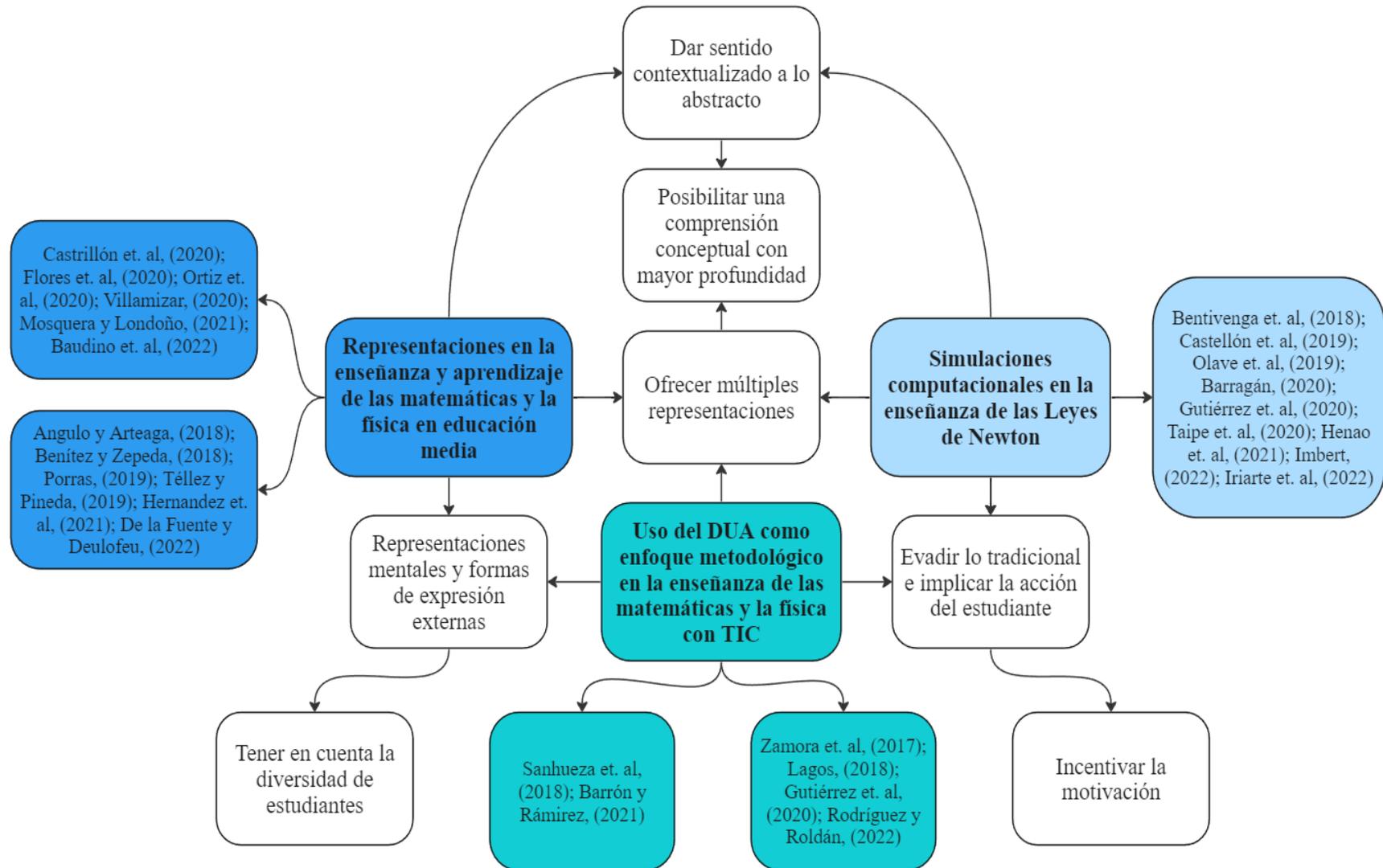
Primero, en cuanto a las representaciones en matemáticas y física. Es importante abordar diversas representaciones para un mismo objeto de conocimiento, en este caso, las Leyes de Newton. Esto ha de realizarse con base en dos objetivos. Inicialmente, y con relación al primer núcleo temático, establecer conexiones y construir significados entre varias representaciones otorga la posibilidad al estudiante de profundizar en la comprensión del concepto. Luego, y relacionado al tercer núcleo temático, presentar múltiples posibilidades de representación está en correspondencia con los principios del DUA. De esta manera, se posibilita establecer conexiones con las diferentes características de los estudiantes, específicamente a las diversas maneras en que aprenden.

Segundo, respecto a las simulaciones computacionales y con base en la anterior reflexión, estas herramientas además de otorgar otras posibilidades de representación también tienen potencial de modificar el espacio tradicional del aula, lo que puede favorecer a la implicación por parte de los estudiantes, en tanto se motivan por explorar nuevas formas de aprender. Además, debido a que son los estudiantes quienes interactúan directamente con el simulador y observan en tiempo real las implicaciones de sus acciones, estos otorgan un sentido personal a lo que están haciendo. Esta interacción, en conjunto con el rol mediador del docente, abre camino a que los estudiantes puedan sentirse inmersos en la construcción de su propio conocimiento.

Finalmente, en la **Figura 1** se representa la relación entre los trabajos seleccionados y los núcleos temáticos planteados para la revisión de literatura.

Figura 1

Relación entre los documentos seleccionados y los núcleos temáticos planteados para la revisión de literatura



4 Marco teórico

El presente capítulo tiene como objetivo exponer los fundamentos teóricos en los cuales este trabajo de investigación se apoya. En primer lugar, se encuentra un apartado relacionado con las TIC, su papel en la enseñanza de las matemáticas y la física, así como las herramientas tecnológicas seleccionadas para este trabajo de investigación y su relación con el objeto de conocimiento de las Leyes de Newton. Luego, se presentan las ideas teóricas relacionadas con la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC) y el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA), las cuales fundamentan el diseño de la propuesta didáctica. Posteriormente, se presenta un marco conceptual relacionado con las representaciones, donde se determina cuál es el enfoque seleccionado para esta investigación. Finalmente, se relacionan las ideas teóricas de todos los referentes expuestos.

4.1 Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC)

La sociedad avanza constantemente en diversos ámbitos de la vida, tales como los relacionados con la economía, política, cultura, la comunicación o la tecnología. En relación con los últimos dos, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se han desarrollado exponencialmente a lo largo del último tramo del siglo XIX y de la totalidad del presente siglo, como resultado de la expansión del conocimiento humano alrededor de las tecnologías digitales. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2013), este desarrollo es la razón principal por la que surge el concepto de sociedad del conocimiento y de la información. Una sociedad caracterizada por la propagación de la información mediante tecnologías donde, como dice Pinos et al. (2020), la totalidad de los ámbitos de la vida cotidiana son afectados de alguna manera debido al desarrollo mencionado.

Desde este planteamiento, es preciso mencionar que uno de los ámbitos de la vida diaria está relacionado con la educación, proceso fundamental para el desarrollo de una sociedad y de los individuos que la conforman. Relacionado con el campo educativo, las TIC son uno de los elementos que más investigación promueve, debido a la constante evolución de la sociedad y de las tecnologías digitales. La razón de lo anterior no es arbitraria, ya que las potencialidades que las TIC tienen para ofrecer son amplias, en Granda et al. (2019) se les reconoce como herramientas

que pueden facilitar la adaptabilidad del docente a las diversas formas de aprendizaje que tienen los estudiantes, sirven como medios que favorecen la participación y el interés de los estudiantes, por lo que se fomenta el aprendizaje activo.

En un sentido similar, Grisales (2018) expone que el uso de las TIC en la educación ha sido permeado por distintas perspectivas y referentes pedagógicos a lo largo de las últimas décadas. Las teorías relacionadas con el conductismo, el cognitivismo, el constructivismo o los enfoques socioculturales son algunas que han trabajado con las potencialidades que las TIC pueden ofrecer. En relación con lo anterior, Pinos et al. (2020) menciona que gracias a la implementación de las TIC las aulas tradicionales de clase pueden caracterizarse por ser innovadoras, debido al intento que se realiza de propiciar un trabajo conjunto entre docentes y estudiantes para la construcción de conocimientos.

Por otra parte, es necesario mencionar que la introducción de las TIC en la educación ha expandido las posibilidades sobre las formas de representación de conocimiento que se les presenta a los estudiantes. Un ejemplo de lo anterior son los modelos dinámicos presentes en aplicaciones como las simulaciones computacionales o los laboratorios virtuales, las cuales tienen la característica de ser altamente interactivas. Estas herramientas permiten a los estudiantes establecer contacto con multiplicidad de conceptos, explorarlos a partir de diversas situaciones y tener control sobre las variables presentes en el sistema representado, lo que puede mejorar significativamente su comprensión por medio de trabajos experimentales guiados donde adquieren el protagonismo en la construcción de conocimiento. Gracias a estas potencialidades, Occelli y Valeiras (2019) exponen que las TIC pueden potenciar los procesos de razonamiento y de construcción de representaciones sobre los conocimientos científicos.

En este orden de ideas, los propósitos de usar las TIC en esta investigación hacen referencia a la correspondencia con la línea de investigación, a facilitar el proceso de aprendizaje de las Leyes de Newton por parte de los estudiantes y a favorecer la construcción de representaciones de este objeto de conocimiento.

4.1.1 TIC en la enseñanza de las matemáticas y la física

Respecto a los campos de conocimiento de las matemáticas y la física, las TIC han supuesto múltiples posibilidades para los procesos de enseñanza y aprendizaje en los últimos años.

En primer lugar, relacionado con el campo de las matemáticas, Grisales (2018) problematiza que en los espacios de clase de esta área todavía es frecuente el uso de metodologías tradicionales enfocadas a procesos mecánicos relacionados con la memorización y resolución de ejercicios descontextualizados. En este sentido, el autor propone que las TIC tienen potencial para ofrecer experiencias dinámicas a los estudiantes, que les permita comprender con mayor facilidad objetos matemáticos. Por ejemplo, los procesos relacionados con la graficación y modelación de funciones o figuras geométricas se ven favorecidos por las tecnologías, ya que otorgan retroalimentación y visualización inmediata de las transformaciones realizadas sobre la expresión matemática de las funciones.

Adicionalmente, en Grisales (2018) se declara una idea esencial: el uso de las TIC no puede reducirse a un asunto instrumental, debe articularse un tratamiento pedagógico con la utilización de las herramientas tecnológicas. Por lo anterior, las tecnologías no deben actuar como una traslación de las enseñanzas tradicionales, por el contrario, su uso debe estar enfocado a un objetivo claro y el rol que deben tener ha de estar orientado a propiciar al estudiante un espacio donde pueda participar activamente. Esta idea es importante, y se toma en cuenta para el diseño de la propuesta didáctica de la presente investigación.

En segundo lugar, y relacionado con la física, en Ré et al. (2012) se establece que las TIC deben usarse con el objetivo de proporcionar experiencias de aprendizaje activas para los estudiantes, las cuales puedan favorecer a la motivación y al interés de estos. Los autores hacen especial énfasis en los laboratorios virtuales basados en simulaciones, exponen que dichas herramientas facilitan el proceso de interacción entre los aspectos teóricos y prácticos de los objetos de conocimiento de la física. Los argumentos que utilizan están relacionados con dos ideas: recursos y experimentación dinámica.

Respecto a los recursos mencionan que: los laboratorios permiten propiciar espacios de representación de situaciones físicas sin preocuparse por costos o materiales que conlleva realizar los experimentos, factor esencial puesto que ni la totalidad de estudiantes ni de instituciones cuentan con los recursos necesarios para realizar los experimentos. Por otro lado, la experimentación dinámica hace referencia a la facilidad que otorgan las simulaciones para realizar iteraciones ilimitadamente de un experimento, con el añadido de poder modificar las condiciones y variables presentes en este, lo que permite a los estudiantes recibir una retroalimentación directa de las implicaciones que tienen las transformaciones que hacen en la simulación.

En la misma línea, en Sanmartí et al. (2011) y Velasco y Buteler (2017) se establece una fuerte relación entre las TIC y la enseñanza de la física mediante las aplicaciones para la visualización de sistemas y fenómenos físicos. Enfatizan en la potencialidad de las simulaciones para hacer explícita la relación de causa y efecto en una situación física, por lo que los estudiantes interactúan en tiempo real y pueden observar las influencias de modificar algún parámetro en el resultado simulado. Este factor es fundamental para el proceso de aprendizaje sobre un objeto de conocimiento y, se tiene en cuenta para el proceso de intervención de esta investigación.

No obstante, los autores también realizan una declaración sobre que las TIC, incluidas las simulaciones, no son suficientes por sí mismas para generar aprendizajes significativos en los estudiantes. Se requiere que estas herramientas tecnológicas se encuentren inmersas en una propuesta didáctica cuidadosamente estructurada y diseñada, que tenga en cuenta las características de los estudiantes y que se otorgue una retroalimentación guiada y continua por parte del docente, enfocada al aprendizaje del objeto de conocimiento en particular.

4.1.2 TIC seleccionadas para la investigación

En concordancia con lo anteriormente expuesto, para cumplir con los objetivos planteados del presente trabajo de investigación se exploró las potencialidades de herramientas digitales como las simulaciones computacionales, videojuegos, medios audiovisuales y aplicaciones interactivas, en orden de favorecer el proceso de aprendizaje de los estudiantes sobre las Leyes de Newton y la configuración de representaciones.

Respecto a las simulaciones computacionales, Ocelli y Valeiras (2019) las definen como programas computacionales que tienen en cuenta modelos conceptuales y matemáticos para representar dinámicamente un sistema o proceso, sea matemático o físico. Además, exponen que otorgan la posibilidad de visualizar las variables involucradas en la situación determinada, los elementos que la constituyen y las consecuencias de realizar diversas interacciones con estos.

En relación con lo anterior, para este trabajo de investigación se hace uso de dos simulaciones: *Phet* y *Cloud Labs*. En primer lugar, las que están asociadas con *Phet* permiten a los estudiantes experimentar con diferentes situaciones y fenómenos alrededor de contenidos de ciencias naturales, matemáticas o física, como, por ejemplo, las Leyes de Newton. Las características de las simulaciones relacionadas con este objeto de conocimiento tienen diversas potencialidades, permiten observar el comportamiento producido por la interacción entre cuerpos

y fuerzas, y notar cómo al cambiar variables presentes en una situación se produce un efecto físico y matemático.

En segundo lugar, *Cloud Labs* es una aplicación que está constituida por múltiples laboratorios virtuales relacionados con la física, las matemáticas o la química. De manera particular, el laboratorio virtual está dirigido a la exploración de una situación enlazada con la Segunda Ley de Newton, la cual consiste en las relaciones de proporcionalidad existentes entre la masa y la aceleración en una situación en la que diversas fuerzas interactúan. Es menester mencionar que la aplicación *Cloud Labs* es de pago, sin embargo, la Institución Educativa Alfredo Cock Arango, lugar donde se realizó la intervención didáctica, cuenta a su disponibilidad con la licencia requerida para el programa. Por lo que se consideró adecuado aprovechar esta situación para explorar la herramienta y las posibilidades que otorga para los fines de esta investigación.

Por otra parte, se tienen los videojuegos, instrumentos que pueden ser caracterizados como un tipo de simulación computacional, en tanto se utilizan modelos matemáticos a través de la programación para representar escenarios, situaciones y procesos enfocados a la temática propia del juego. El aspecto diferenciador se encuentra en el objetivo al que están dirigidos, los videojuegos se crean principalmente con el fin de proporcionar un medio lúdico a las personas, un espacio de entretenimiento. No obstante, son herramientas que pueden favorecer a los procesos de enseñanza y aprendizaje, como exponen Sánchez y Esnaola (2014), el uso enfocado de juegos en la educación potencia el desarrollo de habilidades como la identificación de patrones, la resolución de problemas y el razonamiento lógico.

El propósito de usar estas herramientas en esta investigación consiste en ampliar las maneras de representar la información, propiciar diversas formas de acción y aprovechar el potencial que tienen los juegos para simular situaciones relacionadas con las Leyes de Newton de manera atractiva para los estudiantes.

Finalmente, los medios audiovisuales y aplicaciones interactivas hacen referencia a vídeos y la página web de *Nearpod*, la cual permite crear sesiones de clase en línea, donde se pueden integrar diversos modos de presentar la información, como imágenes, texto, preguntas o presentaciones, y facilitan la interacción entre docente, estudiantes y objeto de conocimiento.

4.1.3 TIC en el aprendizaje de las Leyes de Newton

En relación con el objeto de conocimiento de las Leyes de Newton, las TIC seleccionadas permiten explorar situaciones que abordan ideas representativas del funcionamiento de las leyes. Como expone Vásquez (2017), las propuestas didácticas que involucren el uso de herramientas tecnológicas como videos, simulaciones computacionales o laboratorios virtuales, pueden resultar favorables para el aprendizaje de las leyes, debido a que los estudiantes de la actualidad les resulta más cercano aprender por medio de tecnología, en contraste con la enseñanza tradicional relacionado con el uso del tablero.

Asimismo, en Muñoz y Guaila (2023) se realizó una investigación sobre la incidencia del simulador *Phet* en el aprendizaje de la Segunda Ley de Newton. Los autores destacan que el simulador puede facilitar el proceso de construcción de conocimiento por parte de los estudiantes, argumentan que la herramienta posibilita realizar experimentos de manera dinámica y retroalimentar de manera inmediata las acciones que se realizan en esta. De manera similar, en Iriarte et al. (2022) se declara que mediante estrategias didácticas que articulen la enseñanza de las Leyes de Newton con laboratorios virtuales se puede favorecer al desarrollo de competencias cognitivas y científicas en los estudiantes.

Como puntos de encuentro, las investigaciones de los autores coinciden en que el uso de las TIC, sean vídeos, simulaciones computacionales o laboratorios virtuales, son medios con los cuales se puede favorecer el proceso de lograr un aprendizaje significativo sobre las Leyes de Newton por parte de los estudiantes. Esencialmente, se hace énfasis sobre las potencialidades dinámicas que tienen estas tecnologías para posicionar al estudiante como el protagonista del proceso de construcción de conocimiento, generar participación activa por parte de este y presentar diversos espacios para interactuar con las Leyes de Newton que evaden las estrategias de enseñanza tradicionales.

4.2 Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC)

La presente investigación se fundamenta pedagógicamente en la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC) de Marco Antonio Moreira, un investigador brasileño que tiene como objeto de estudio la enseñanza de la física. Para constituir la TASC el autor recoge ideas de la Teoría del Aprendizaje Significativo y la del Aprendizaje Subversivo, correspondientes a Ausubel, y Postman y Weingartner respectivamente. Como resultado, Moreira (2005) establece que la base

principal para la construcción del conocimiento es el proceso de interacción entre el conocimiento previo y el nuevo, en tanto solo se puede aprender a partir de lo que ya se sabe.

Es importante mencionar que una de las consecuencias directas del enfoque que presenta Moreira (2010) sobre los conocimientos previos es la concepción que tiene del estudiante como individuo. El autor lo caracteriza como un ser que no está vacío en cuanto a conocimientos y que no se limita a ser un recipiente para almacenar información. El estudiante percibe el mundo y tiene la capacidad de construir representaciones de este, a su vez, cuenta con experiencias de orden personal, social y cultural que influyen en la manera como concibe la nueva información a la que está expuesto cotidianamente.

Por otra parte, Moreira (2010) presenta una problemática en relación con los procesos educativos, menciona que las prácticas de enseñanza se centran en transmitir el conocimiento de manera cerrada al presentar un estado fijo de las cosas, que se centra en enseñar verdades y respuestas correctas. Por lo que se deja de lado el cuestionamiento, el proceso mediante el cual un conocimiento es constituido, las otras miradas que se dieron alrededor del mismo, por lo que finalmente en las prácticas escolares no se aprende a aprender, sino que se aprende a aceptar sin cuestionar.

En este sentido, el autor caracteriza el aprendizaje significativo crítico como una estratagema para afrontar la sociedad contemporánea, en sus palabras este aprendizaje se refiere a “aquella perspectiva que permite al sujeto formar parte de su cultura y, al mismo tiempo, estar fuera de ella” (Moreira, 2010, p. 7). La interpretación de lo anterior puede reflejarse como la importancia que tiene el hecho de que una persona conozca de manera interna los aspectos culturales y sociales del contexto en el que se enmarca, pero también, establezca una posición crítica y amplíe la mirada que tiene frente al contexto que le rodea, al evaluar las características y problemáticas de este desde una posición externa.

A partir de establecer las posiciones interna y externa mencionadas, el estudiante se encuentra en la capacidad de manejar la información que tiene a su alcance sin limitaciones. Al respecto, Moreira (2010) expone que las potencialidades de un buen manejo de la información le otorgan al estudiante la habilidad de no ser subyugado por su cultura y de actuar frente a los cambios sociales de tal manera que pueda obtener beneficios al respecto. Una situación que contrasta con la idea anterior se puede observar cuando una persona adopta sin cuestionamientos

las grandes cantidades de información que proveen los medios que lo rodean, por lo que no hay una posición crítica y, en consecuencia, no hay aprendizaje significativo crítico.

Después de presentar las ideas esenciales sobre este aprendizaje, Moreira (2010) sugiere una serie de principios a tomar en cuenta para la planeación de los procesos de enseñanza que se realizan con el objetivo de lograr un aprendizaje significativo crítico. Los principios, así como sus ideas principales se encuentran en la **Tabla 4**.

Tabla 4

Principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico

Principio	Idea principal
Conocimiento previo	Los aprendizajes nuevos se adquieren a partir de lo que ya se sabe, ya que, en el proceso de adquirir algún conocimiento, los esquemas y representaciones mentales previos relacionados a este son reconfigurados.
Interacción social y cuestionamiento	La enseñanza debe ser un episodio compartido entre alumnos y docentes, en el cual se tenga como enfoque el intercambio de preguntas, más que la transmisión de respuestas.
Diversidad de materiales educativos y de estrategias de enseñanza	No hay aprendizaje significativo crítico en los espacios de aula que se limitan a herramientas como el libro de texto o la pizarra, así como tampoco se logra cuando el protagonista es el docente y las verdades que instruye. El uso de materiales diversificados y de planteamientos didácticos que impliquen la participación activa del estudiante pueden facilitar un aprendizaje significativo crítico.
Aprendiz como perceptor representador	El alumno no se limita a ser un contenedor y receptor de información. Este cuenta con percepciones y representaciones previas del mundo. En la medida que interactúa con información nueva y la interpreta, modifica las representaciones del mundo en unas que considere más funcionales. Por ende, la manera en cómo evolucionan las representaciones de un alumno sobre un objeto de conocimiento es evidencia de que ha adquirido el conocimiento.
Conocimiento como lenguaje	Todo campo de conocimiento que esté en relación con los seres humanos cuenta con un lenguaje concreto, palabras, símbolos, instrumentos y prácticas hacen parte de dicho lenguaje. Aprender críticamente ese lenguaje es parte del proceso de aprender de manera significativa.
Conciencia semántica	El significado de las cosas está en las personas, el significado que cada persona le atribuye a un objeto de vida está influenciado por las experiencias previas que ha vivido en relación con dicho objeto. En la medida que el estudiante pueda atribuir significados a lo que observa y percibe de la interacción con el proceso de enseñanza, puede ser evidencia de un aprendizaje significativo crítico.
Aprendizaje por error	Las personas aprenden por medio de la conciencia sobre los errores que cometen. Por lo que los errores deben aceptarse como algo natural y actuar críticamente a partir de ellos, mediante la auto corrección.
Desaprendizaje	La sociedad está en constante cambio, por lo que se dan ocasiones en que anclarse al conocimiento previo de algo impide aceptar lo diferente y construir nuevo conocimiento. Hay que aprender a distinguir lo funcional de lo que ya sabemos, para desaprender lo no esencial.

Principio	Idea principal
Incertidumbre del conocimiento	El conocimiento es un proceso de construcción constante de la especie humana, en el que interactúan preguntas, metáforas e interpretaciones subjetivas que constituyen una visión del mundo en particular. Por lo anterior, el conocimiento puede ser incierto y depende del contexto en el que se construye.
Abandono de la narrativa	El modelo clásico de la enseñanza consiste en la narrativa del docente, específicamente en las verdades que transmite. Si el objetivo es una enseñanza centrada en el alumno, se debe propiciar espacios para que hable más, negocie significados con sus pares y participe críticamente de su aprendizaje.

Una vez expuestas las ideas teóricas de Moreira, es menester mencionar cuáles de ellas fundamentan el presente trabajo de investigación y la propuesta didáctica que se lleva a cabo con los estudiantes. Principalmente se abordan cinco principios: diversidad de materiales educativos, diversidad de estrategias de enseñanza, aprendiz como perceptor representador, conciencia semántica y conocimiento como lenguaje. De manera secundaria e indirecta se abordan los demás principios. La selección de estos principios no es arbitraria, la razón se encuentra en la relación existente entre las ideas representativas de estos y el problema planteado al comienzo del proceso investigativo. Se observa que las ideas de estos principios tienen potencial tanto para aportar a la resolución de la problemática planteada como para cumplir con los objetivos de investigación. A continuación, se exponen algunos apartados para cada principio seleccionado, los cuales se interpretan y se describe desde el enfoque que tienen para este trabajo de investigación.

4.2.1 Principio de la diversidad de materiales educativos

Moreira (2010) problematiza que el conocimiento sea concebido como un elemento cerrado y finalizado, del cual su veracidad no se puede poner en duda y que el libro de texto es el lugar donde está contenido dicho conocimiento. Hay numerosas ocasiones donde alumnos y docentes hacen uso excesivo de esta herramienta, y este hecho influye negativamente para lograr un aprendizaje significativo crítico. El autor menciona que esta práctica deconstruye el pensamiento, en tanto estimula el aprendizaje centrado en verdades que no se pueden cuestionar, por lo que para contrarrestar esta situación; aboga por el uso de diversos materiales educativos, “la utilización de materiales diversificados, y cuidadosamente seleccionados, en lugar de la centralización en libros de texto es también un principio facilitador del aprendizaje significativo crítico”. (Moreira, 2010, p. 10)

Tener en cuenta este principio para la investigación está en total concordancia con el aspecto problemático planteado al inicio de esta. Es menester para los procesos de enseñanza y aprendizaje propiciar espacios a los estudiantes donde puedan interactuar con diversos medios, no exclusivamente con el libro de texto. Lo anterior, además de facilitar el acercamiento a las distintas formas en que los estudiantes aprenden, también puede favorecer a la generación de espacios que resulten interesantes y amenos para ellos.

Para conseguir acercarse a las ideas representativas de este principio se busca propiciar en la intervención didáctica espacios de aprendizaje en los cuales los estudiantes puedan interactuar con diversos materiales educativos. Como lo son las simulaciones computacionales, videojuegos y experimentos con materiales caseros.

4.2.2 Principio de la diversidad de estrategias de enseñanza

En la misma línea que el principio anterior, Moreira (2010) realiza una crítica a las prácticas educativas donde la única acción válida es resolver ejercicios provenientes de un libro en el tablero del aula. Añade que esta metodología se enfoca en un aprendizaje mecánico por parte del estudiante donde se premia la memorización y la capacidad de reproducir sin cuestionar lo que realiza el docente. A modo de complemento, expone que la pizarra promueve procesos educativos centralizados en la figura docente, donde se da a entender que es este el único que tiene conocimiento y quien está en capacidad de proveer las respuestas correctas.

En orden de contrarrestar estas prácticas, establece que “el uso de diferentes perspectivas y planteamientos didácticos que impliquen la participación activa del estudiante y, de hecho, promuevan una enseñanza centrada en el alumno es fundamental para facilitar un aprendizaje significativo crítico”. (Moreira, 2010, p. 18)

Para la presente investigación y la caracterización de la problemática planteada también es menester tener en cuenta las ideas representativas de este principio. Es favorable para los procesos de enseñanza y aprendizaje propiciar espacios en los cuales los estudiantes puedan interactuar con los objetos de conocimiento a partir de espacios que cuenten con diversidad de estrategias educativas. Esto se piensa conseguir por medio de una intervención didáctica que diversifique los espacios y las maneras en que los estudiantes están en contacto con el aprendizaje de las Leyes de Newton, como trabajos grupales e individuales, concursos o desafíos y un proceso mediado a partir de múltiples medios las simulaciones, videojuegos, vídeos y prácticas experimentales.

4.2.3 Principio del aprendiz como perceptor representador

En numerosas ocasiones de procesos de enseñanza y aprendizaje se presenta la concepción limitante de la figura del estudiante como mero receptor de información. No obstante, Moreira (2010) establece que el estudiante cuenta con conocimientos previos y tiene la capacidad de percibir y representar el mundo. En relación con esas percepciones, el autor expone que la manera en que se percibe y representa la nueva información está influenciada por el conocimiento previo, específicamente por las percepciones y representaciones que una persona ha configurado para ese momento y que considera son funcionales.

Al respecto de la funcionalidad sobre la forma en que se representa la información, Moreira (2010) declara que “es improbable que cambiemos nuestros modelos mentales, con los cuales representamos el mundo, a menos que dejen de ser funcionales para nosotros” (p. 11). Lo anterior también implica un proceso, en la medida que un estudiante considere que las percepciones y representaciones que tiene sobre algo sean funcionales, este no intentará modificarlas, por lo que no habrá un desarrollo para aprender algo nuevo. Por lo tanto, la manera en cómo evolucionan las representaciones de un alumno sobre un objeto de conocimiento son evidencia del proceso de adquisición sobre el conocimiento que ha configurado.

Adicionalmente, el factor de que los estudiantes cuentan con percepciones previas está directamente relacionado con una idea que el docente siempre ha de tener en cuenta, la cual hace referencia a la diversidad presente en el aula. Moreira (2010) dice que “el profesor estará siempre lidiando con las percepciones de los alumnos ... son únicas, cada uno de ellos percibirá de manera única lo que se les está enseñando” (p. 11). Para complementar, es menester mencionar que el docente también es un perceptor y representador de la información, por lo que cuenta con una visión única de las cosas, al igual que los estudiantes, por esta razón, Moreira (2010) menciona que la comunicación entre los sujetos de estudiante y docente solo puede funcionar apropiadamente en la medida que tengan como objetivo percibir de manera similar los procesos de enseñanza y aprendizaje.

4.2.4 Principio de la conciencia semántica

Para caracterizar este principio, Moreira (2010) hace énfasis en la presencia que tienen los seres humanos en la creación y constitución del lenguaje, específicamente de las palabras que

hacen parte de este. Declara que “sean cuales sean los significados que tengan las palabras, fueron atribuidos por personas” (p. 13), como resultado de esto, surge otro aspecto relacionado con el conocimiento previo de una persona, pues los significados que atribuye a las palabras están influenciados por las anteriores experiencias que ha vivenciado en relación con estas.

Como consecuencia de lo mencionado por el autor, se puede interpretar que las palabras son una forma de representación, una aproximación de los significados que le atribuyen las personas a la realidad. En este sentido, dichas representaciones no son invariables, pueden modificarse y complejizarse a medida que recorre el tiempo con base en las experiencias nuevas de las personas. Por lo tanto, en la medida que el estudiante pueda atribuir significados a lo que observa, percibe y representa a partir de la interacción con el proceso de enseñanza, puede ser evidencia de un aprendizaje significativo crítico.

4.2.5 Principio del conocimiento como lenguaje

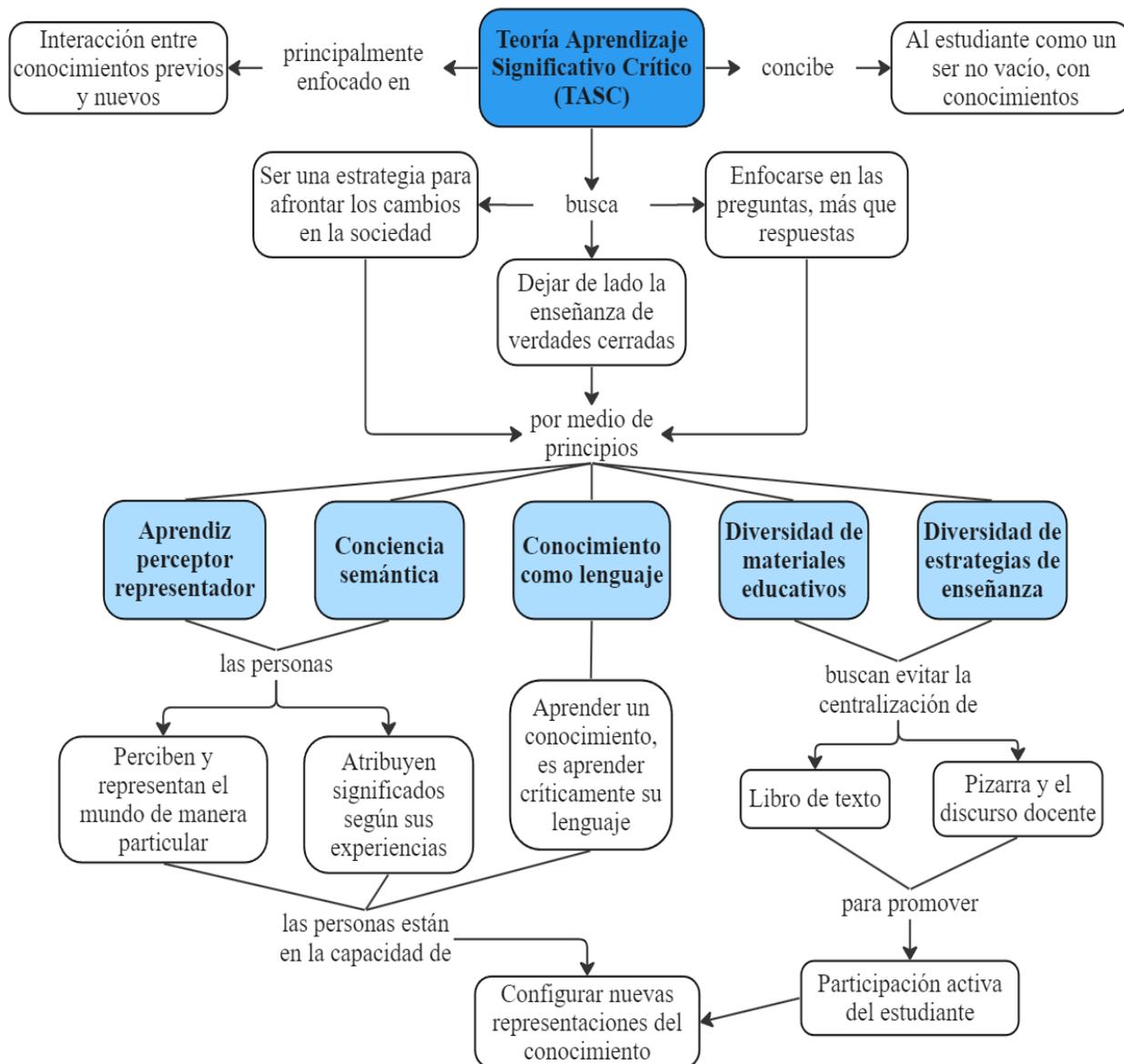
Todos los campos del conocimiento cuentan con un lenguaje propio, cada uno está estructurado a partir de una manera particular de percibir la realidad con la que está relacionada. Al respecto, Moreira (2010) establece que “la llave de la comprensión de un *conocimiento*, o de un *contenido* es conocer su lenguaje” (p. 12). A manera de complemento, es necesario mencionar que el lenguaje de las ciencias está constituido por palabras, conceptos, símbolos, instrumentos y procedimientos, y todos estos elementos caracterizan la forma de percibir el mundo desde las ciencias. En este sentido, Moreira (2010) declara que aprender un conocimiento de manera significativa y crítica consiste en aprender los elementos que hacen parte del lenguaje de manera no arbitraria, por lo que se constituye una nueva forma de percibir y representar el mundo.

El enfoque que tiene este principio para la investigación está relacionado con los elementos que constituyen las representaciones que los estudiantes construyen sobre las Leyes de Newton. En concreto, a medida que los estudiantes comprendan las leyes, las representaciones que construyen se pueden complejizar y contar con más elementos del lenguaje relacionado con las leyes.

Finalmente, expuestas las interpretaciones de los principios esenciales seleccionados para este trabajo de investigación, en la **Figura 2** se presenta un esquema para sintetizar la fundamentación teórica de la TASC que se aborda para esta investigación.

Figura 2

Esquema de conceptos sobre los fundamentos seleccionados de la TASC



Por lo anterior, la propuesta didáctica que se desarrolla en este trabajo de investigación busca establecer espacios donde los estudiantes tengan la posibilidad de aprender a partir de tres momentos. El primero, exposición de percepciones previas que tienen frente a situaciones relacionadas con las Leyes de Newton. Posteriormente, un proceso de interacción a través diversos medios como las simulaciones computacionales y prácticas experimentales para establecer contacto con fenómenos relacionados con las Leyes de Newton. Finalmente, un espacio para

establecer puntos de encuentro y desencuentro entre las percepciones previas y el conocimiento configurado durante el proceso de interacción, en el cual expresan las nuevas representaciones de las Leyes de Newton que construyeron.

4.3 Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA)

En el apartado anterior se ha mencionado que existe diversidad de estudiantes en el aula de clase, en orden de exponer que las percepciones de los estudiantes son particulares. Este factor no es el único que es particular, en tanto las personas son diversas entre sí en múltiples aspectos. Piensan, hablan, aprenden y actúan de manera diferente, ya que son procesos influenciados por la manera en que una persona se desarrolla, las personas a su alrededor y los contextos en los que ha estado presente.

En este sentido, es importante mencionar que, en lo referido al proceso educativo, es complejo acoplar los espacios de enseñanza a la totalidad de la diversidad que presentan los estudiantes. Ya sea a través de ejercicios, resolución de problemas, vídeos explicativos o diálogos con otras personas, los estudiantes tienen una manera particular mediante la cual construyen el conocimiento. Por este motivo, construir un espacio de enseñanza que favorezca a todos los modos de aprender del estudiante de manera simultánea es inverosímil.

Sin embargo, existen enfoques que tienen como objetivo orientar prácticas educativas para generar un acercamiento a las múltiples formas en que los estudiantes perciben, expresan y se implican un objeto de conocimiento. En concordancia, en esta investigación se opta por hacer uso de las ideas características del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA), con el objetivo de ampliar la accesibilidad de la propuesta didáctica y tener en cuenta la diversidad de estudiantes presente en el aula de clase.

Según Pastor et al. (2014), el DUA se puede definir como un enfoque basado en la investigación para el diseño del currículo... que permite a todas las personas desarrollar conocimientos, habilidades y motivación e implicación con el aprendizaje. Este enfoque metodológico surge para contrarrestar los métodos y estrategias tradicionales que se presentan en las prácticas de enseñanza, como la recurrencia al libro de texto, el uso de la pizarra y el discurso docente, ideas presentes en la problemática planteada y similares sobre las que habla Moreira (2010). El objetivo que tiene dejar de lado estas prácticas tradicionales está relacionado con tener en cuenta la diversidad de los estudiantes en el aula, las distintas maneras en que perciben y

representan la información, así como las diversas formas en que construyen el conocimiento y aprenden.

Para establecer un camino en orden de lograr un proceso de enseñanza que abarque la mayor parte de los estudiantes, el DUA constituye una base de tres principios fundamentales, los cuales otorgan directrices y pautas para implementar el enfoque en las aulas de clase. Estos principios son: proporcionar múltiples formas de representación, proporcionar múltiples formas de acción y expresión, y proporcionar múltiples formas de implicación. En la **Tabla 5** se destacan las ideas principales de cada uno de estos principios, los cuales, a su vez, están constituidos por tres pautas.

Tabla 5
Principios del Diseño Universal para el Aprendizaje

Diseño Universal para el Aprendizaje			
Principio I. Múltiples formas de representación	Pauta 1. Proporcionar diferentes opciones para percibir la información.	Pauta 2. Proporcionar múltiples opciones para el lenguaje y los símbolos.	Pauta 3. Proporcionar opciones para la comprensión.
Principio II. Múltiples formas de acción y expresión	Pauta 4. Proporcionar múltiples medios físicos de acción.	Pauta 5. Proporcionar opciones para la expresión y hacer fluida la comunicación.	Pauta 6. Proporcionar opciones para las funciones ejecutivas.
Principio III. Múltiples formas de implicación	Pauta 7. Proporcionar opciones para captar el interés.	Pauta 8. Proporcionar opciones para mantener el esfuerzo y la persistencia.	Pauta 9. Proporcionar opciones para la autorregulación.

Una vez expuestas las ideas teóricas del DUA bajo la fundamentación de Pastor et. al (2014), es preciso mencionar qué principios y pautas se tienen en cuenta intencionadamente para la propuesta de intervención didáctica de este trabajo de investigación.

4.3.1 Múltiples formas de representación

La idea principal en la que se enfoca este principio hace referencia a que los estudiantes perciben, interpretan y comprenden la información con la que interactúan de manera diferente. Por esta razón, algunos pueden comprender con mayor facilidad la información a través de medios visuales, auditivos o kinestésicos. En este sentido, es inadecuado pensar que existe un medio de representación perfecto que se acople a la diversidad de los estudiantes.

En este orden de ideas, para lograr abordar este principio se pretende hacer uso de diversos medios de representación en la intervención didáctica, en concreto, material audiovisual, videojuegos en línea, simulaciones computacionales, situaciones problema y prácticas experimentales con material físico. Por lo anterior, las pautas número uno y dos actúan como directrices de la propuesta, en tanto se ofrecen alternativas para la información visual y auditiva, y se ilustran las ideas principales a través de múltiples medios. Adicionalmente, se tiene en cuenta la pauta número tres, en el sentido de que el propósito de la educación es enseñar a transformar los conocimientos que ya tienen (Pastor et al., 2014), por lo que es menester realizar un proceso activo de los conocimientos previos, factor que está ampliamente relacionado con las ideas principales de la TASC.

4.3.2 Múltiples formas de acción y expresión

Como idea fundamental de este principio se tiene que los estudiantes están caracterizados por tener múltiples formas de aprender y de expresar los conocimientos. Mientras que a algunos se les facilita expresarse por medio del discurso oral, otros prefieren escribir las ideas, ya que esa es la manera en que se han sentido más cómodos en sus experiencias previas. Por este motivo, es inapropiado declarar que existe una forma de acción y expresión que se ajuste a las características de todos los estudiantes.

En concordancia, para favorecer las ideas de este principio se busca establecer un trabajo guiado por sus tres pautas. Para proporcionar múltiples medios físicos de acción se ofrecen diferentes posibilidades para interactuar con los materiales educativos y diversos métodos de respuesta, como la oralidad o escritura. Por último, respecto a proporcionar opciones para la expresión y hacer fluida la comunicación, se hace uso de múltiples formas o medios de comunicación como elementos audiovisuales o experimentales, con el fin de adaptarse a la diversidad de estudiantes.

4.3.3 Múltiples formas de implicación

El enfoque que tiene este último principio está relacionado con el componente emocional de los estudiantes. Dicho factor es crucial para los procesos de aprendizaje, en tanto la motivación y los niveles de implicación con los que cuenta un estudiante repercute ampliamente en el conocimiento que finalmente construye. De manera similar a los anteriores principios, la

diversidad de los estudiantes implica que tienen preferencias para los procesos de aprendizaje, por ejemplo, mientras que algunos prefieren trabajar individualmente otros buscan un trabajo colectivo.

En este orden de ideas, para lograr abordar este principio se pretende propiciar diversas maneras en que los estudiantes se impliquen con el aprendizaje, ya sea a través de material audiovisual, videojuegos en línea, simulaciones computacionales, situaciones problema y prácticas experimentales con material físico. Adicionalmente, como ideas directrices se tienen en cuenta las pautas número siete y ocho, por lo que se busca ofrecer opciones para captar el interés y mantener el esfuerzo de los estudiantes. Lo anterior a través de proveer espacios donde los estudiantes puedan construir el conocimiento de manera tanto individual como colectiva, y donde se les proporcione retroalimentación constante.

Finalmente, en la **Figura 3** se presenta un esquema a modo de síntesis de los elementos teóricos relacionados con el DUA que se abordan para este trabajo de investigación.

4.4 Representaciones

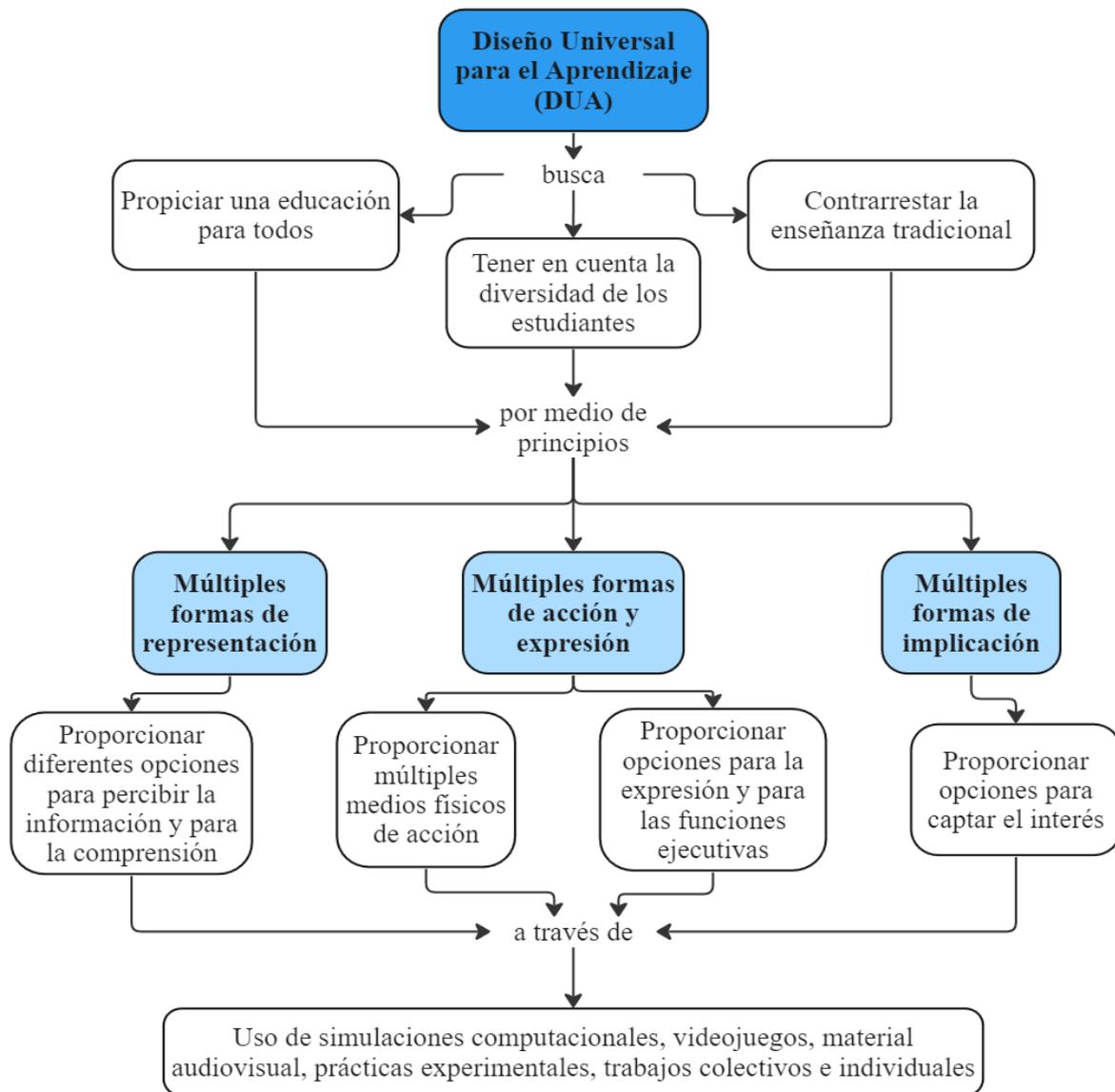
Los seres humanos contamos con diversas formas de registrar y organizar la información o el conocimiento, las representaciones hacen alusión a una de ellas. Una representación no es más que cualquier tipo de conjunto de notaciones, inscripciones, signos o símbolos que representan algo (Eysenck y Keane, 2005). Es decir, la representación se usa en un momento determinado para traer a la realidad ese algo que está siendo representado y que estaba ausente, por lo que se presenta nuevamente. Es común que lo representado sea algún fenómeno o suceso que haga parte del mundo exterior o de la imaginación.

Además de esta diferencia sobre lo que puede ser representado, existen dos grandes conjuntos que abarcan los tipos de representación que se pueden presentar: las representaciones externas o internas (Eysenck y Keane, 2005). Mientras que las de tipo externo hacen referencia a diagramas, dibujos, escritos o mapas, las internas son más complejas y se relacionan con los procesos del qué y cómo una persona representa el mundo en la mente.

Esta investigación se enfoca esencialmente en las representaciones externas que los estudiantes construyen sobre las Leyes de Newton, debido a los objetivos del trabajo y el alcance

Figura 3

Esquema de conceptos sobre los fundamentos seleccionados del DUA



dentro del espacio de tiempo establecido. Por este motivo, es necesario profundizar en la caracterización de estas representaciones.

Las representaciones externas se pueden dividir principalmente en dos clases: lingüísticas y gráficas (Eysenck y Keane, 2005). Las primeras son aquellas que hacen uso de anotaciones escritas, habitualmente palabras o conjuntos de símbolos, mientras que las de tipo gráfico son las que están constituidas por imágenes, pictogramas o diagramas.

Según los autores, existen algunas diferencias entre las representaciones lingüísticas y gráficas. En primer lugar, las lingüísticas están formadas por símbolos específicos (palabras o letras) para representar relaciones de cosas, mientras que las gráficas las relaciones de esas cosas se muestran implícitamente. Por ejemplo, “el libro está sobre la mesa” es una representación lingüística que expone la relación “sobre” entre los objetos del libro y la mesa, mientras que un dibujo de un libro encima de una mesa sería la representación gráfica de la misma situación. Adicionalmente, el dibujo puede representar más información, la posición espacial del libro respecto a la mesa, el tipo de libro o de mesa o incluso los colores de los objetos.

Por lo anterior, las representaciones gráficas pueden ser más concretas que las lingüísticas en un primer momento. Puesto que, con una descripción más extensa, la de tipo lingüístico puede complejizarse y otorgar el mismo nivel de información.

A modo de cierre, se proyecta que los estudiantes construyan representaciones externas de ambos tipos, que evolucionan progresivamente a medida que interactúan con la propuesta didáctica planteada.

4.5 Relación entre los referentes teóricos

Finalmente, expuestos todos los fundamentos teóricos es necesario establecer relaciones entre ellos para otorgar una coherencia interna del trabajo, comunicar la información con mayor detalle y especificar el enfoque que se pretende hacer con este trabajo de investigación.

En primer lugar, la TASC (2005, 2010) y el DUA (Pastor et al., 2014) presentan puntos de encuentro a través de sus principios orientadores. En concreto, los principios de la diversidad de estrategias y materiales de enseñanza se encuentran alineados con los referentes a las múltiples formas de representación, expresión e implicación. Ambos elementos teóricos coinciden en que es fundamental tener en cuenta la diversidad de los estudiantes y proporcionar múltiples espacios para el proceso de enseñanza y aprendizaje con el fin de evitar estrategias tradicionales y promover la participación activa de los estudiantes.

En correspondencia, las TIC surgen como un medio que posibilita a los estudiantes espacios diversificados para el proceso de aprendizaje de las Leyes de Newton. Específicamente, a través del uso de materiales audiovisuales, aplicaciones interactivas y herramientas como las simulaciones computacionales se pretende propiciar diversas formas de representar el objeto de

conocimiento, diferentes maneras de expresión e implicación en el proceso de aprendizaje, para favorecer el acercamiento a los principios de la TASC, el DUA.

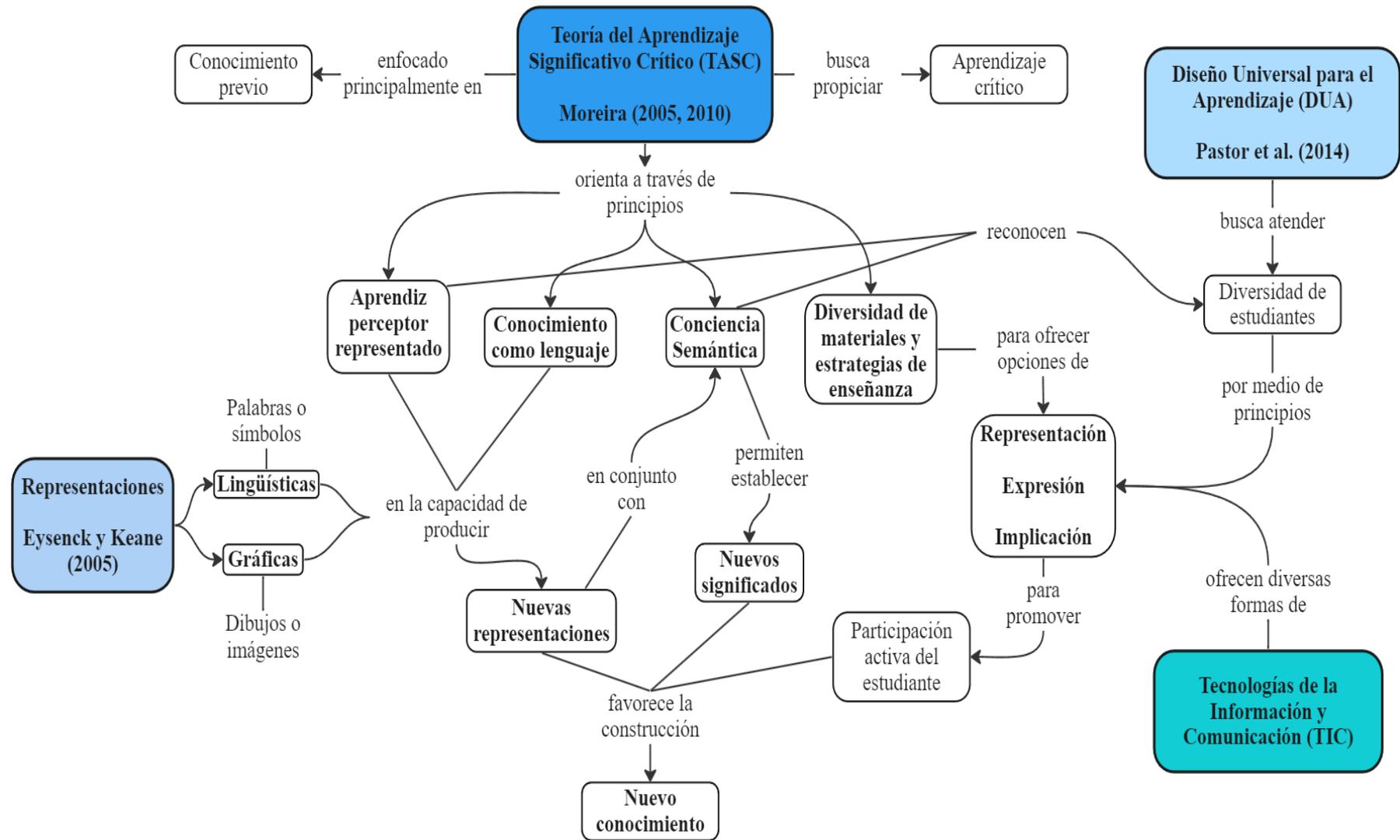
Por otra parte, se puede establecer una relación entre el principio de aprendiz como perceptor representador de la TASC y el de múltiples formas de representación del DUA. Ambos enfatizan en la capacidad que tienen los estudiantes para percibir el mundo y representarlo de manera única, formas de representación que resultan funcionales para cada persona (Moreira, 2010) y que pueden ser de diverso carácter, como lingüístico o gráfico (Eysenck y Keane, 2005).

De manera relacionada, es importante anotar que estas representaciones evolucionan en la medida que los estudiantes transforman los conocimientos previos que poseen en la interacción con los nuevos conocimientos. En particular, conforme los estudiantes comprenden el lenguaje específico sobre un objeto de conocimiento (proceso que se también se favorece a partir de las TIC), pueden expresar nuevas formas de representación con mayor complejidad que igualmente se acoplen a los modos particulares de percibir el mundo de cada estudiante. Por lo anterior, se presenta relación entre las potencialidades de las TIC, el principio de conocimiento como lenguaje de la TASC, el principio de expresión del DUA y las representaciones de Eysenck y Keane (2005).

Otra relación se puede establecer entre lo que postula Moreira (2010) y el enfoque que se propone utilizar de las TIC para esta investigación. La teoría de la TASC postula que los procesos de enseñanza y aprendizaje deben ser críticos, en este sentido es fundamental que las tecnologías no se utilicen con un enfoque instrumental. En diversos casos las tecnologías son usadas por los docentes como un reemplazo de la pizarra o el libro de texto, esta práctica no se aleja de las enseñanzas tradicionales donde el que posee los conocimientos es el docente. Por lo anterior, las TIC deben ser un medio para expandir las posibilidades de las estrategias de enseñanza, favorecer la implicación por parte de los estudiantes y presentar diversas maneras de expresión y representación, tal cual lo expone el DUA.

A modo de cierre, en la **Figura 4** se indican las relaciones entre los diversos referentes teóricos, las TIC, la TASC, el DUA y las representaciones.

Figura 4
Esquema de relación entre los referentes teóricos para la investigación



5 Marco metodológico

5.1 Paradigma de investigación

Antes que nada, es necesario mencionar que la perspectiva epistemológica que se adopta en este trabajo de investigación hace referencia al constructivismo. Según Bautista (2011), la idea representativa de esta perspectiva consiste en que los conocimientos que adquiere una persona son el producto de un proceso de reconstrucción constante de la realidad, que se encuentra en la interacción entre la persona y el medio que lo rodea. Por lo anterior, para este trabajo se favorecieron espacios donde los estudiantes pudieran llevar a cabo el proceso de construcción de conocimiento a partir del uso de diversas estrategias y materiales de enseñanza, como las simulaciones computacionales, prácticas experimentales con material físico u otras herramientas tecnológicas. Por consiguiente, se pueden establecer puntos de encuentro y desencuentro entre estos medios para describir de qué manera se favorece a la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton.

En este sentido, la investigación se enmarca en el paradigma interpretativo con un enfoque cualitativo porque tiene como preocupación principal la comprensión e interpretación de los estudiantes en relación con el aprendizaje de las Leyes de Newton. Según Moreira (1999), la investigación cualitativa se enfoca en dos elementos característicos, los significados que las personas atribuyen a eventos u objetos y en sus interacciones dentro de un contexto social. Por otro lado, Bautista (2011) menciona que el paradigma interpretativo resalta la importancia del acto de la interpretación, ya que es este por el cual una persona dota de sentido a la realidad que vive. Por lo tanto, este paradigma centra la atención en el sujeto investigado y busca comprender las maneras en que construye el conocimiento e interpreta su realidad.

Para acercarse a la comprensión de las interpretaciones de los participantes, es necesario adentrarse en el contexto cultural de los mismos. En este caso, el contexto se refiere al aula de clase, caracterizada por Moreira (1999) como un lugar con una organización sociocultural concreta, y, donde sus participantes pueden construir e intercambiar significados, por eso, la función del investigador es analizar esos significados para interpretarlos. Así, los fundamentos seleccionados para este trabajo de investigación fueron pertinentes para analizar la comprensión de los estudiantes sobre las Leyes de Newton, pero específicamente a partir de sus interpretaciones, reflejadas en las representaciones que construyen respecto al objeto de conocimiento.

5.2 Tipo de estudio

Coherentemente con el paradigma de investigación, este trabajo se realiza mediante un estudio de caso. Según Stake (2010) este “es el estudio de la particularidad de un caso singular, para llegar a comprender su actividad en circunstancias importantes” (p. 11), por lo que para esta investigación el caso es un grupo de estudiantes de grado décimo en orden de profundizar acerca del proceso de enseñanza y aprendizaje relacionado con las Leyes de Newton apoyado en las TIC.

Adicionalmente, el objeto de estudio principal de esta investigación hace referencia a las representaciones que los estudiantes construyen de las Leyes de Newton; por lo tanto, el tipo de estudio explícito es el estudio de caso instrumental, ya que los estudiantes de la institución son el instrumento para comprender un objeto de estudio más amplio, como lo es el aprendizaje de las Leyes de Newton.

5.3 Contexto de la investigación

El proceso de investigación se realiza en la Institución Educativa Alfredo Cock Arango, ubicada en el Barrio Castilla, comuna 6 de la ciudad de Medellín. Es una institución mixta y de carácter oficial, creada y aprobada por la Secretaría de Educación de Medellín. Trabaja en conjunto con programas como “Colombia aprende”, “Gobierno digital” y “Medellín Digital”, los cuales ofrecen servicios, herramientas y contenidos para apoyar los procesos de enseñanza y aprendizaje ya estén o no apoyados por las TIC. En relación con el programa de Medellín Digital, es importante mencionar que, gracias a este, la institución cuenta una sala de ordenadores con acceso a internet, la cual se aprovecha en esta investigación como parte de la propuesta didáctica.

Según el PEI de la institución¹², la enseñanza está orientada a propiciar una formación integral para los estudiantes, donde sean capaces de enfrentar el mundo de forma autónoma y crítica. Además, busca la formación de una persona dispuesta al cambio que la modernidad exige a partir de los avances de la ciencia y la tecnología, que respete los derechos humanos, la diversidad cultural y el medio natural, y construya aprendizajes prácticos de los principios y valores ciudadanos.

¹² Para más información se puede acceder al siguiente enlace <https://tinyurl.com/4tjw2xh7>

5.4 Participantes del estudio

La investigación se realizó con los estudiantes del grupo décimo dos, de los cuales fueron seleccionados ocho participantes. Los criterios de selección fueron los siguientes: la disposición presentada durante el proceso de intervención, la cual se refiere a la participación y actitud durante las sesiones de clase; el cumplimiento de todas las actividades planteadas de la propuesta didáctica; la motivación e interés en el desarrollo de las clases y, finalmente, la presencia de información relacionada con los objetivos de esta investigación en sus aportes y productos de clase. Estos criterios se establecen a partir de la observación participante del investigador y el análisis parcial de los productos obtenidos por parte de los estudiantes a lo largo de las sesiones de intervención.

Las características de los participantes son las siguientes: se encuentran en un rango de edad de 15 a 20 años, algunos demuestran interés por los conocimientos de las ciencias mientras que otros prefieren áreas como la literatura o el arte, y finalmente, reflejan una sana convivencia entre ellos, por lo que se sienten cómodos con los trabajos de modalidad grupal.

5.5 Consideraciones éticas

Esta investigación tiene en cuenta los derechos de los participantes, por lo que se busca abordar diversos principios éticos referidos a la investigación con seres humanos.

En primer lugar, los participantes son informados en detalle sobre el proceso de investigación; es decir, todo lo relacionado con qué tipo de actividades se van a realizar, los tiempos correspondientes y las maneras en que se realiza la recolección de información del proceso. En este sentido, se les solicita la aprobación para realizar entrevistas y conservar registros fotográficos de los productos que realicen a lo largo del proceso de intervención.

En segundo lugar, la investigación tiene en consideración la minimización de riesgos y la maximización de beneficios posibles para la población con la que se trabaja. Por lo anterior, todos los espacios del proceso de intervención son diseñados para garantizar la seguridad de los participantes y no alterar su estado físico o emocional de alguna manera.

Finalmente, luego de explicar en detalle a los participantes el proceso de investigación, se les provee el formato de consentimiento informado (**Anexo 1**), mediante el cual pueden aceptar o rechazar con libertad y sin ninguna influencia externa, la participación en el proceso de investigación. Asimismo, como los participantes son menores de edad, el consentimiento incluye un apartado para que los acudientes otorguen su aval de participar.

5.6 Instrumentos y técnicas para la recolección de información

Para este trabajo de investigación se tienen en cuenta diversos instrumentos y técnicas para la recolección de la información, dentro de las cuales se encuentran: el análisis documental, la observación participante, el diario de campo y la entrevista individual semiestructurada. Adicionalmente, se emplean otros instrumentos como el cuestionario diagnóstico y los productos realizados por los participantes.

5.6.1 Análisis documental

Según Bautista (2011), esta técnica consiste en investigar documentos de diversa naturaleza para indagar sobre la cultura de las personas participantes de la investigación. Estas fuentes de información pueden ser de valioso interés para el investigador, ya que le permite ampliar la comprensión sobre el contexto, el sistema de valores y prácticas de la población que es objeto de estudio.

De manera adicional, Sandoval (como se citó en Bautista, 2011) expone diversas etapas para realizar adecuadamente esta técnica, las cuales consisten en rastreo y clasificación de documentos, selección de acuerdo con la relevancia, lectura detallada de los textos seleccionados, extracción de fragmentos para el análisis y finalmente, lectura cruzada de todos los elementos extraídos de los documentos para establecer puntos en común y diferencias.

Para la presente investigación se adoptan estas visiones del análisis documental con el objetivo de cumplir un propósito: generar un acercamiento al contexto pedagógico de la institución educativa, esencialmente sobre los cursos de matemáticas y física. Por lo anterior, se realiza una lectura del proyecto educativo institucional y los planes de área de ambas disciplinas, con el fin de reconocer características sobre la visión que se tiene de la enseñanza y lo referente a los aspectos metodológicos que se utilizan en los espacios de clase.

5.6.2 Observación participante

Como se mencionó con anterioridad, es fundamental para una investigación con enfoque cualitativo interpretativo que el investigador se encuentre cerca del espacio y población objeto de estudio, en este caso el salón de clases y los estudiantes respectivamente. Al respecto, Moreira (1999) menciona que el investigador interpretativo debe encontrarse inmerso en el fenómeno que

busca comprender y anotar detalladamente lo que acontece en ese contexto. Para cumplir con estas funciones, la observación participante que se adopta en esta investigación está relacionada con lo que dice Bautista (2011), quien expone que esta técnica es un medio para alcanzar la comprensión de la realidad que se quiere investigar. El autor detalla que el investigador debe establecer conversaciones con los participantes del estudio, conocerlos y estrechar los vínculos con ellos, para poder observarlos activamente en un contexto específico como es el aula de clases, pero con naturalidad.

Por lo anterior, el uso de la observación participante en esta investigación tuvo lugar desde el primer momento en que se entró en contacto con los estudiantes y docentes. Esto, con el fin de obtener información del contexto institucional de forma pasiva, para establecer una caracterización de las metodologías en los espacios de clase, así como las herramientas y medios empleados para la enseñanza. Además, también fueron relevantes las conversaciones esporádicas que se tenían con los estudiantes, donde compartían sus percepciones de las matemáticas y la física, así como las dificultades que tenían para comprender los conocimientos de dichas áreas.

Adicionalmente, esta técnica de recolección de información es fundamental en el espacio de intervención de la propuesta didáctica, donde se debe otorgar una mayor atención a las acciones y comentarios de los estudiantes, factor que permite empezar a identificar patrones de comportamiento y evidencias de aprendizaje en relación con el proceso de enseñanza, información que es esencial para el análisis de la investigación.

5.6.3 Diario de campo

Para complementar la anterior técnica, es necesario establecer un registro de la información observada en el proceso de investigación. Esto hace referencia al instrumento del diario de campo. Según Sandoval (1996), el diario es el lugar donde se registra de manera continua, sistemática y acumulativa todo lo que sucede durante el proceso en el que la investigación está activa.

Adicionalmente, para este trabajo se concibe que el sentido del diario de campo no se limita a transcribir lo que acontece durante el proceso de intervención con los estudiantes. También, es pertinente que a partir de la observación participante se establezcan análisis parciales y elementos significativos para los objetivos de la investigación.

En este orden de ideas, el diario de campo debe caracterizarse por ser un instrumento esquematizado donde lo esencial es la organización de la información. Debe permitir el registro de

las acciones, comentarios y reacciones sobre lo que se quiere comprender, en este caso, el aprendizaje de las Leyes de Newton y las representaciones que los estudiantes construyen sobre este objeto de conocimiento.

5.6.4 Entrevistas semiestructuradas

Para este trabajo de investigación es fundamental conocer las percepciones e interpretaciones que los participantes tienen alrededor de las Leyes de Newton. Estos elementos también pueden ser analizados desde la oralidad y gestualidad de los estudiantes, por este motivo, se hace necesario usar la entrevista como técnica de recolección de información. Según Bautista (2011), la entrevista hace referencia a una conversación que cuenta con un objetivo y que se da entre el investigador y los participantes. El autor justifica que, para conocer acerca de las percepciones y experiencias de una persona, no existe otro individuo diferente a la misma persona para hablar de lo que piensa, siente y experimenta a lo largo de un proceso.

En particular, para esta investigación se elige usar las entrevistas semiestructuradas, en tanto se tiene en cuenta que durante la entrevista pueden surgir preguntas que no estaban planteadas de base, pero que son necesarias para profundizar en la comprensión de los estudiantes. Como expone Bautista (2011), este tipo de entrevista no está caracterizada por la rigidez sino por la libertad y la espontaneidad, ya que, por medio de un diálogo natural desde la posición del investigador, se puede conocer más sobre las percepciones y representaciones con las que cuentan la población seleccionada.

Por último, es necesario mencionar que, para el desarrollo de esta técnica, se recurre a un instrumento o formato guía de entrevista, el cual se construye a partir de la retroalimentación otorgada por expertos, con el fin de establecer un criterio de validez para la investigación.

5.6.5 Otros instrumentos

Durante el desarrollo de la propuesta didáctica surgen otros instrumentos con el propósito de registrar información para la investigación. Inicialmente se aplica un cuestionario diagnóstico (**Anexo 2**) con el objetivo de identificar las percepciones previas que tienen los estudiantes acerca de situaciones relacionadas con las Leyes de Newton. El cuestionario está conformado por cinco preguntas abiertas y una de selección múltiple. Luego, en el transcurso de las sesiones de clase se usa la aplicación digital *Nearpod*, por medio de la cual se les plantean preguntas a los estudiantes

en cada sesión, las cuales se relacionan con los medios utilizados durante el espacio de clase, como los videojuegos o simulaciones. Una potencialidad de la aplicación es que otorga la posibilidad de generar informes que contengan todas las respuestas que los estudiantes otorgaron para las preguntas. De esta manera, los informes son otro instrumento para la recolección de información para esta investigación.

5.7 Propuesta didáctica

Las intervenciones realizadas se sustentan a partir de la relación entre la TASC y el DUA, donde se tienen los objetivos de diversificar los espacios de aprendizaje, promover la participación activa de los estudiantes, y favorecer la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton por parte de los estudiantes.

La propuesta se realiza en seis sesiones, cuatro de una hora y 45 minutos cada una y dos sesiones de una hora aproximadamente. Sesiones que se llevan a cabo en aproximadamente un mes y 15 días, y están distribuidas en tres fases: introducción, desarrollo y cierre. El objetivo de la fase de introducción es explicar en detalle a los estudiantes el proceso de investigación, solicitarles el consentimiento informado (**Anexo 1**) e implementar el cuestionario diagnóstico (**Anexo 2**), el cual es resuelto por los estudiantes de forma individual con una duración de una hora aproximadamente.

La fase relacionada con el desarrollo de la intervención está conformada por cuatro sesiones de clase. Tres de estas sesiones se enfocan en el trabajo con cada una de las Leyes de Newton de manera individual, y para su desarrollo se utiliza la aplicación *Nearpod*, un portal interactivo que permite crear sesiones de clase en línea en tiempo real, donde se pueden integrar diversos modos de presentar la información, como imágenes, texto o presentaciones de vídeo. Los estudiantes pueden acceder a la clase con un código, de esta manera, por medio de la aplicación se les plantea preguntas y se comparten los enlaces de acceso para las demás herramientas, como los vídeos, videojuegos o simulaciones computacionales. Por último, en la cuarta sesión se trabajan las tres leyes en conjunto a través de un experimento.

La primera sesión de esta fase, la cual está enfocada en la Tercera Ley de Newton¹³, consiste en seis momentos.

¹³ A través de *Nearpod* se usó una presentación de diapositivas para acompañar la sesión de clase. https://app.nearpod.com/?pin=50184EDCE0AF8170E547BFA08F7A9281-1&&utm_source=link

- **Primero:** se les plantea a los estudiantes diversas situaciones relacionadas con la tercera ley (**Anexo 3**), para que establezcan hipótesis según las percepciones previas que tengan y así identificar sus conocimientos previos.
- **Segundo:** los estudiantes interactúan con algunas simulaciones de videojuegos donde pueden experimentar situaciones donde el movimiento de un objeto está influenciado por las fuerzas de acción y reacción, como lo son el lanzamiento de una flecha con arco o el uso de un *jet pack*. Para acompañar estas interacciones se les plantea a los estudiantes preguntas abiertas con el fin de que identifiquen relaciones en común entre todas las situaciones y se realiza una socialización (**Anexo 4**).
- **Tercero:** se propone la realización de un experimento con material físico, para promover la implicación por parte de los estudiantes y la interacción con otros medios, para favorecer las diferentes formas en que los estudiantes perciben la información. Este experimento consiste en representar el funcionamiento de la Tercera Ley mediante el comportamiento que tiene un globo al expulsar el aire.
- **Cuarto:** se les presenta a los estudiantes dos contenidos audiovisuales, una escena de película donde puedan identificar una situación relacionada a la tercera ley y seguir estableciendo relaciones, y luego, un vídeo que sintetiza la Tercera Ley de Newton, un acercamiento a su conceptualización y ejemplos en los que está presente.
- **Quinto:** los estudiantes deben retomar la situación que se les plantea al inicio de la sesión y reconstruir sus percepciones, después de haber interactuado con las simulaciones y experimentos. El objetivo es que respondan a la situación planteada y construyan una representación de esta, la cual es objeto de estudio y posible evidencia del proceso de construcción de conocimientos de los participantes.
- **Sexto:** se les expone a los estudiantes contextos de aplicación de la Tercera Ley de Newton, con el propósito de relacionar los conocimientos adquiridos con situaciones reales.

Para la segunda y tercera sesión de la fase de desarrollo, se abordaron la Segunda y Primera Ley de Newton respectivamente. La estructura de cada una de estas sesiones es similar a la anterior descrita, con algunas diferencias que se describen a continuación.

Para la sesión de la Segunda Ley¹⁴ se modifica el primer momento. En concreto, se realiza un recordatorio de la sesión anterior, y se presenta a los estudiantes mediante el *Nearpod* un par de situaciones relacionadas con esta Ley, para que puedan compartir sus hipótesis o percepciones previas. Luego, sigue el espacio de interacción con una simulación computacional, en este caso *Cloud Labs* y se acompaña con diversas preguntas, así como una tabla de registro de datos (**Anexo 5**). Se mantiene la presentación de los materiales audiovisuales y el espacio de la práctica experimental, la cual está relacionada con el movimiento de pelotas de diversas masas al estar influenciadas por fuerzas de igual o diferente magnitud y dirección. Finalmente, se les asigna a los estudiantes de manera particular una situación relacionada con la Segunda Ley (**Anexo 6**) para que construyan representaciones de esta, las cuales son objeto de estudio.

En relación con la sesión de la Primera Ley¹⁵, las diferencias son la simulación computacional que se usa, ya que en este caso se trabaja con *Phet*, y la práctica experimental se realiza con cartas, monedas y vasos de plástico. Esta consiste en colocar una carta sobre la palma de la mano y encima de esta una moneda, luego se aplica una fuerza a la carta para que se mueva sin afectar a la moneda. Esta situación se repite con los vasos de plástico, por lo que se puede evidenciar el funcionamiento de la inercia, referida a la Primera Ley. Por último, se les comparte a los estudiantes las situaciones relacionadas a ley (**Anexo 7**) para que construyan las representaciones correspondientes.

Antes de continuar con la siguiente sesión, el motivo por el cual la propuesta didáctica aborda las Leyes de Newton en el orden inverso está relacionado con que a consideración del investigador no es fundamental seguir la linealidad de las leyes. La primera ley es un caso particular de la segunda, donde la velocidad es constante. Por otra parte, la tercera ley es una situación particular de las fuerzas, donde no se necesitan los preconceptos de las dos primeras leyes para comprenderla.

Respecto a la cuarta sesión, el espacio está dirigido a la construcción de un cohete a partir de materiales caseros como lo son el bicarbonato de sodio, vinagre, hilo, servilletas, una botella y un corcho. El objetivo es que los estudiantes identifiquen la presencia de las tres Leyes de Newton y su funcionamiento en el comportamiento del cohete. Después de identificar estos elementos,

¹⁴ A través de *Nearpod* se usó una presentación de diapositivas para acompañar la sesión de clase. https://app.nearpod.com/?pin=C17F0596EFE49BE7B05534D20291BD45-1&&utm_source=link

¹⁵ A través de *Nearpod* se usó una presentación de diapositivas para acompañar la sesión de clase. https://app.nearpod.com/?pin=AB2EDB91098B04E07F267FD3287C920C-1&&utm_source=link

deben construir una representación gráfica acerca de la situación y describir cómo se presentan las leyes en esta.

Por último, la tercera fase de la propuesta didáctica hace referencia al cierre del proceso. Esta fase está constituida por una única sesión, donde se realizan preguntas al grupo de estudiantes con el objetivo de comprender las valoraciones acerca del proceso de intervención. Finalmente, se realizan entrevistas individuales semiestructuradas (**Anexo 8**) a los participantes del estudio de caso. Las anteriores actividades se sintetizan en la **Tabla 6**.

Tabla 6
Síntesis de la propuesta didáctica

Sesión - Duración	Objetivos	Actividades o Procesos
1 1 hora	Identificar los conocimientos previos que poseen los estudiantes relacionados con las Leyes de Newton.	Cuestionario Diagnóstico.
2 1h 40'	Identificar las fuerzas de acción y reacción que intervienen en la interacción entre objetos. Establecer relaciones entre las fuerzas de acción y reacción presentes en una situación y sus influencias de comportamiento.	Uso de videojuegos. Experimento con materiales. Representación de situación.
3 1h 40'	Establecer relaciones de proporcionalidad entre la fuerza, masa y aceleración en el movimiento de un objeto. Representar las condiciones de comportamiento de una situación problema, que se derivan de la Segunda Ley de Newton.	Uso de la Simulación <i>Cloud Labs</i> Experimento con materiales. Representación de situación.
4 1h 40'	Identificar las influencias que tienen las fuerzas sobre el movimiento de los objetos. Describir el proceso mediante el cual un objeto produce o detiene su movimiento.	Uso de la Simulación <i>Phet</i> . Experimento con materiales. Representación de situación.
5 1h 40'	Describir el comportamiento de las Tres Leyes de Newton en el fenómeno relacionado con el movimiento de un cohete.	Experimento con materiales. Construcción de cohete.
6 1 hora	Identificar las percepciones y apreciaciones de los estudiantes sobre el proceso de enseñanza. Establecer una valoración del proceso de intervención.	Socialización colectiva. Entrevistas semiestructuradas.

Es necesario mencionar que la planeación e intervención de la propuesta didáctica se pudieron realizar correctamente gracias a diversas ventajas de la institución educativa. Entre las que se destacan las siguientes: una sala de ordenadores portátiles con acceso a internet, proyección de material audiovisual a través del televisor, buena disposición de los docentes del área de física y matemáticas, así como de la docente del área de inglés, la cual facilitó un espacio de clase para realizar la sesión número tres, disposición de los estudiantes para realizar los trabajos a través de los diversos espacios como las simulaciones o prácticas experimentales.

5.8 Técnicas y procedimientos para el análisis de la información

El siguiente gran capítulo de esta investigación hace referencia al análisis de la información registrada de los participantes de la intervención pedagógica didáctica.

Según Bautista (2011), el análisis de información que hace referencia a la “interpretación de los datos recolectados en el transcurso de toda la indagación y que han sido registrados en diversos instrumentos para facilitar su estudio” (p. 187). Este proceso de interpretación es el que permitirá profundizar en los significados que los estudiantes otorgan respecto al proceso de construcción de conocimiento y permitirá establecer conclusiones relacionadas a los objetivos de investigación y, finalmente producir nuevo conocimiento que aporte al campo investigativo.

Por lo anterior, es necesario y fundamental realizar un proceso estructurado para organizar la información recolectada, el cual se apoya mediante el diario de campo, la entrevista, y los elementos de material audiovisual que se recolectan en las sesiones de la intervención. Este proceso de organización permite facilitar el análisis de la información por medio de los procedimientos seleccionados, los cuales son la categorización, codificación y el análisis de contenido.

En primer lugar, la categorización se refiere a un proceso de reducción de datos que busca segmentar toda la información registrada a lo largo del proceso a través de los instrumentos y técnicas de recolección. Esta segmentación no se realiza de forma arbitraria, Bautista (2011) expone que su función consiste en simplificar la información a partir de criterios unificadores para facilitar la detección de patrones o regularidades, acción que permite establecer puntos de encuentro o desencuentro y desde los cuales se puede favorecer la comprensión del objeto de estudio. A manera de complemento, el autor menciona que las categorías se pueden construir en dos momentos, antes (apriorísticas) y después (emergentes) de registrar la información de estudio.

Por lo anterior, en la **Tabla 7** se exponen las categorías y subcategorías apriorísticas que fueron construidas con base en los objetivos de investigación.

Tabla 7
Matriz metodológica

Objetivo General	Objetivos Específicos	Categorías	Subcategorías	Instrumentos y actividades
Analizar las representaciones que construyen los estudiantes sobre las Leyes de Newton a partir de una propuesta didáctica fundamentada en la TASC y el DUA apoyada por simulaciones computacionales.	Establecer la relación entre los principios de la TASC y los principios fundamentales del DUA como base para el diseño de una propuesta didáctica para el aprendizaje de las Leyes de Newton.	1. Aportes de los principios de la diversidad de estrategias y materiales de enseñanza de la TASC y de los principios del DUA para el aprendizaje de las Leyes de Newton.	Sin subcategoría.	Observación participante, diario de campo, grabaciones de las clases, análisis documental (actividades y cuestionarios), entrevista informal grupal y entrevista semiestructurada final.
	Identificar el aporte que tiene el uso de diversas estrategias y materiales de enseñanza para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton.	2. Potencialidades de la diversificación en el aula para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton.	2.1 Aportes de las simulaciones computacionales para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton.	Observación participante, diario de campo, grabaciones de las clases, análisis documental (actividades y cuestionarios), entrevista informal grupal y entrevista semiestructurada final.
			2.2 Aportes de otros medios digitales para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton.	
Describir las representaciones que los estudiantes construyen sobre las Leyes de Newton a partir de la propuesta didáctica.	3. Sistemas representacionales sobre las Leyes de Newton.		2.3 Aportes de las prácticas experimentales para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton.	Observación participante, diario de campo, grabaciones de las clases, análisis documental (actividades y cuestionarios), entrevista informal grupal y entrevista semiestructurada final.
			3.1 Representaciones lingüísticas sobre las Leyes de Newton.	
			3.2 Representaciones gráficas sobre las Leyes de Newton.	

En segundo lugar, la codificación es un proceso complementario a la categorización, Bautista (2011) lo caracteriza como la operación de asignar indicativos a las unidades de análisis que se considera están en correspondencia con alguna categoría de análisis. Los indicativos pueden ser de carácter numérico o visual, como la ayuda de numerales o colores, en la **Tabla 7** se pueden observar los códigos numéricos a los que corresponden cada categoría y subcategoría de análisis. Finalmente, el sentido de utilizar tanto la categorización como la codificación en este trabajo de investigación radica en el potencial que ofrecen estos procesos para organizar sistemáticamente la información y establecer relaciones con los referentes teóricos.

En tercer lugar, el análisis de contenido está relacionado con la interpretación de la información recolectada durante la investigación, proveniente de los participantes del estudio. Bautista (2011) expone que hablar de análisis de contenido infiere que existe un significado oculto sobre las acciones de los participantes, y es necesario que el investigador revele esa información oculta por medio de la interpretación para la constitución de nuevo conocimiento. El sentido de abordar el análisis de contenido en esta investigación se encuentra en profundizar sobre dos elementos: primero, las producciones de los participantes de la investigación, específicamente con las representaciones que construyen sobre las Leyes de Newton en cada sesión de la propuesta didáctica. Segundo, las transcripciones de los comentarios de los estudiantes, los cuales se presentaron en las sesiones de clase o en la entrevista y que fueron registrados en el diario de campo o a partir de grabaciones.

5.9 Criterios de validez

Por último, y con el objetivo de establecer procedimientos para la validación de la información de la investigación se encuentran tres elementos. En primer lugar, se recurre al proceso de la triangulación, Cisterna (2005) declara que este proceso se realiza una vez ha finalizado la recopilación de toda la información otorgada por los participantes. En sus palabras, la triangulación consiste en “la acción de reunión y cruce dialéctico de toda la información pertinente al objeto de estudio surgida en una investigación por medio de los instrumentos correspondientes, y que en esencia constituye el corpus de resultados de la investigación” (p. 68). A partir de esto, la información recolectada de un instrumento de recolección se relaciona con una categoría y se sintetiza según las tendencias que se presenten en los resultados, luego, se triangula tanto con otros instrumentos de recolección como con el marco teórico para establecer el análisis.

En segundo lugar, se encuentra la observación persistente, según Rodríguez et al. (2005), este criterio da credibilidad a la investigación en tanto que la permanencia del investigador en el contexto investigado permite ofrecer mayor garantía y veracidad a la información recogida, lo que permite profundizar en los aspectos esenciales del contexto de estudio.

Finalmente, los autores exponen otros criterios de validez tomados en cuenta en esta investigación: se realiza una amplia recogida de información mediante diversos métodos de recolección; se describe cómo se recogen los datos, cuál es la caracterización del contexto y los participantes o cómo analizan los datos, para que otros investigadores puedan abordar pasos similares a esta investigación; y como se mencionó antes, se recibió una retroalimentación otorgada por expertos, para mejorar el diseño de la entrevista semiestructurada y el cuestionario diagnóstico.

6 Resultados y análisis

Este capítulo pretende presentar e interpretar los resultados obtenidos en esta investigación. El proceso de categorización y codificación que fundamenta el análisis de la información registrada se hizo teniendo en cuenta las categorías y subcategorías expuestas en la **Tabla 7**. De esta manera, se pretende que la información presentada en el capítulo esté en correspondencia con los objetivos planteados en esta investigación.

Luego, la información se trianguló entre las diversas técnicas e instrumentos de recolección, como el diario de campo, los productos de los estudiantes y las entrevistas semiestructuradas, con el fin de identificar tendencias que se mantengan para favorecer la validez y la confiabilidad de los resultados. Adicionalmente, la información se relacionó con elementos correspondientes del marco teórico para apoyar la interpretación del investigador. Por otra parte, a los participantes se les asignó un código de nombramiento con el fin de abordar las consideraciones éticas expuestas en el capítulo anterior, en este sentido, serán nombrados durante todo el capítulo de la siguiente manera: E1, E2, E3, ... y E8. Finalmente, se editaron algunos productos realizados por los participantes con el objetivo de evitar errores de ortografía y que la información presentada resulte más cómoda para su lectura.

6.1 Aportes de los principios de la diversidad de estrategias y materiales de enseñanza de la TASC y de los principios del DUA para el aprendizaje de las Leyes de Newton

Esta categoría se define a partir de los procesos de diversificación de la enseñanza y aprendizaje de las Leyes de Newton construidos para la propuesta didáctica y consiste en responder a la siguiente pregunta: ¿qué estrategias y materiales de enseñanza usadas en la intervención favorecieron el aprendizaje de los participantes? En este sentido, se articulan las observaciones e interpretaciones del investigador con los comentarios de los participantes del estudio sobre las estrategias y materiales que permitieron aprender y construir el conocimiento, para establecer una valoración general sobre la propuesta didáctica.

En primer lugar, respecto a las observaciones del investigador, se identificó que la diversidad de espacios propiciados en la propuesta didáctica logró favorecer la disposición de los participantes para el aprendizaje, en el sentido que participaron activamente durante y fuera de los encuentros. El factor anterior se manifestó en hechos como la formulación de preguntas, la

generación de opiniones, la definición de hipótesis sobre situaciones realizadas con las Leyes de Newton y, finalmente, mediante reflexiones al final de las sesiones sobre los elementos a destacar y por mejorar sobre las sesiones de clase.

Para ampliar las tendencias extraídas de la observación participante se puede mencionar que las estrategias que mayor favorecieron la disposición para el aprendizaje fueron el uso de videojuegos y las prácticas experimentales. Los participantes manifestaron que los espacios de juego representaban una forma más divertida de aprender sobre las Leyes de Newton, y, asimismo, en la medida que comprendían el funcionamiento de los juegos y establecían relación con la ley física particular de la sesión, lograban mejorar sus puntuaciones, factor que les motivaba a superarse.

Respecto a los experimentos, los estudiantes demostraron una disposición constante para participar de estas actividades, manifestaron que esta estrategia los motiva e impulsa para involucrarse con más consistencia en el proceso de aprender. El motivo principal de lo anterior se relaciona con que las prácticas experimentales representan una salida de las acciones rutinarias de las clases. De esta manera, mediante dichas prácticas los estudiantes se observaron más activos, y algunos manifestaron que pueden sentir el aprendizaje de una manera más completa, ya que realizan experimentos de un elemento teórico ya presentado, luego observan qué sucede o no en cada situación y consolidan un conocimiento o una idea relacionada con las Leyes de Newton. Adicionalmente, se observó que es importante plantear preguntas y desafíos a los estudiantes durante las prácticas experimentales, ya que fue una acción que los motivaba a superar la situación, y les favoreció para establecer nuevas relaciones o consolidar otras que ya tenían.

Por otra parte, se encuentran las ideas relacionadas con las simulaciones computacionales. Estas herramientas también favorecieron la disposición de los estudiantes, solo que en menor medida que las anteriormente mencionadas. En las simulaciones, los estudiantes se interesaron por el potencial de experimentación que ofrecían, además de su interactividad, ya que son herramientas que dan respuesta rápida ante las acciones realizadas. Sin embargo, es necesario mencionar que los participantes presentaron algunas dificultades para comprender en su totalidad el funcionamiento tanto del simulador *Cloud Labs* como el de *Phet*. No obstante, una vez recibieron una pequeña explicación de las características de estos programas ya no presentaron inconvenientes de manejo tecnológico, por lo que se mantuvieron inmersos en el proceso de interacción con la aplicación.

Finalmente, se encuentran los materiales de orden audiovisual. En primer lugar, respecto a la estrategia de usar la aplicación *Nearpod* para el montaje de las sesiones de clase, los participantes realizaron comentarios destacando la facilidad de manejo de la aplicación y aquellos factores que les parecieron interesantes. Mencionaron que les permitió responder las preguntas planteadas de tal manera que se evitó la necesidad de escribir en papel, por lo que la escritura digital aportó a la disposición para la sesión de clase. De igual manera, destacaron el potencial de la aplicación para los procesos de comunicación, ya que pudieron acceder a los videojuegos de manera fácil, sin que representara un problema para la sesión, elemento que también favoreció a su disposición. Y, en segundo lugar, se encuentra el uso de los vídeos explicativos de las leyes y las escenas de película, estos materiales también aportaron en la medida de favorecer la atención a la diversidad, lo anterior se refleja en los comentarios de algunos participantes que enunciaron aprender más cómodamente con elementos visuales. Por otra parte, la conjunción de la proyección de vídeos con preguntas o situaciones hipotéticas fue un espacio de intervención donde los estudiantes se animaron a responder activamente durante las sesiones, ya que compartieron sus percepciones y puntos de vista propios sobre situaciones relacionadas con las Leyes de Newton.

A modo de complemento para favorecer las interpretaciones anteriores se presenta la **Tabla 8**, donde se exponen diversos comentarios de los participantes del estudio. Los cuales provienen de productos entregados en clase o de fragmentos extraídos de las entrevistas semiestructuradas. Además, se resaltan elementos considerados esenciales para esta categoría y se asocian con cuatro tendencias identificadas, indicadas como T1, T2, T3 y T4. Estas se relacionan con las interpretaciones del investigador anteriormente expuestas.

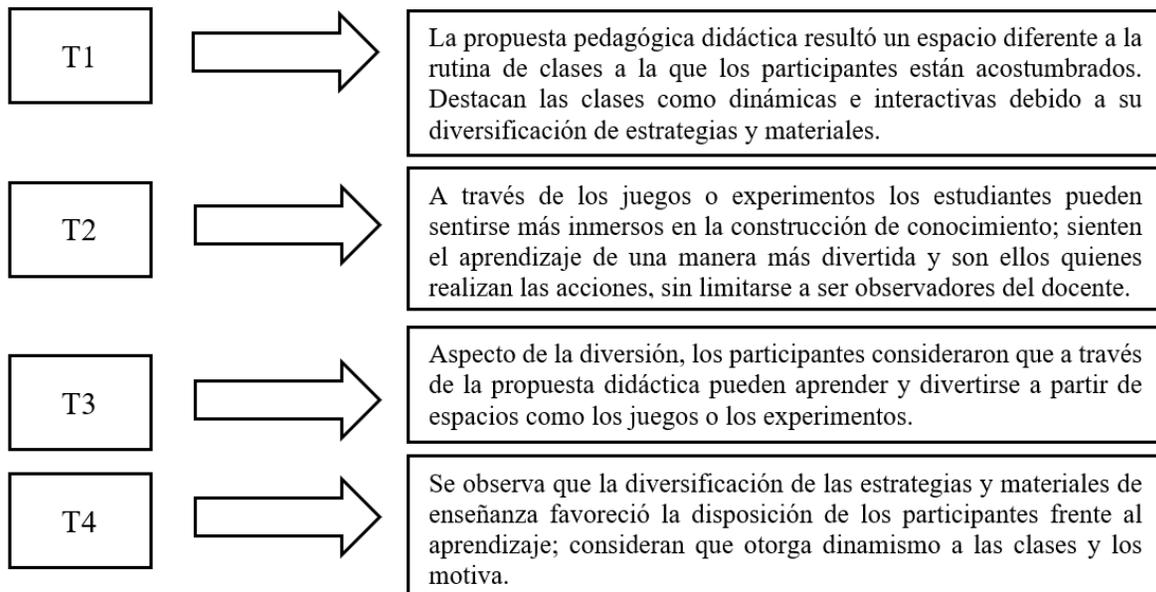
Tabla 8

Comentarios de los participantes acerca de la propuesta didáctica

Participante	Comentario
E1	<i>Las clases me parecieron muy interactivas, porque digamos, uno salía digamos de lo rutinario, también los experimentos que hicimos me parecieron interesantes para aprender (T1), como el del cohete. Las clases así lo motivaban a uno para hacer algo (T4), lo cual es muy bueno. (Entrevista semiestructurada)</i>
	<i>Yo pude aprender más con las simulaciones porque sentía que no solo podía ver cómo funcionan las cosas (T4) y uno mismo calcular, pero a su ritmo, ir probando y ver qué pasaba (T2). También me parecieron muy interesantes los experimentos, ya que con ellos salíamos de la rutina de los ejercicios de clase (T1). (Entrevista semiestructurada)</i>

Participante	Comentario
E2	<i>Me gustan muchos las clases que salen de la monotonía. A mí me gustaron mucho los juegos, ya que son diferentes a las clases de la teoría y es más ver hacer (T1) ... nosotros veíamos, hacíamos algo en el juego, respondíamos a la pregunta y sacábamos una conclusión, y eso me gusta. Eso también pasaba con las simulaciones y los experimentos, como que uno podía ver de diferentes maneras las leyes, y entonces eso era bueno (T4).</i> (Entrevista semiestructurada)
E3	<i>Gracias a todos los esquemas, dibujos, juegos ha sido más fácil comprender el tema de una manera poco común (T4). Ya que a pesar de que nos divertíamos también aprendíamos (T3).</i> (Producto de clase) <i>Lo que me llamó la atención de las clases fueron las diferentes maneras, los vídeos, los juegos, los experimentos y las simulaciones (T4). Con los experimentos creo que aprendo más porque es como más dinámico, o sea, cuando uno hace el experimento es como ya uno sabe cómo funciona eso, se aprende y entiende el tema (T2).</i> (Entrevista semiestructurada)
E4	<i>El estilo de las clases fue muy diferente a lo que estamos acostumbrados, como más lúdica, entonces eso creo que lleva a una mejor concentración y más entendimiento (T1) de lo que estábamos estudiando. Me interesó el uso de la aplicación con la que respondíamos las preguntas (Nearpod), porque ese momento lo acompañábamos con las simulaciones, entonces yo leía la pregunta, la pensaba e iba probando en el simulador, y así como que entendía más y me parecía cómodo el aprender (T4).</i> (Entrevista semiestructurada)
E5	<i>El proceso de las clases me pareció muy chévere porque cambiamos la rutina, de siempre estar en el salón copiando (T1). Creo que, con los experimentos, sobre todo el del cohete que fue el que más me gustó, porque después de varios intentos me funcionó, entonces eso de hacer con mis propias manos varias veces me ayuda a aprender a hacer algo (T2).</i> (Entrevista semiestructurada) <i>Creo que con las clases así aprendemos más, es super chévere porque no todo tiene que ser teoría (T3).</i> (Producto de clase)
E6	<i>Las clases me parecieron muy dinámicas, porque me gustaron los experimentos y las idas a los computadores con las simulaciones (T4). Esas actividades son diferentes a las clases habituales, y entonces eso llega a gustar más, uno presta más atención (T1) y es más interesante.</i> (Entrevista semiestructurada) <i>Con los experimentos creo que uno aprende mejor, como que siente las cosas con mayor profundidad porque uno está haciendo, está como activo (T2).</i> (Producto de clase)
E7	<i>Lo que hicimos me pareció muy dinámico, es como bien diferente a lo que estoy acostumbrada y eso me gustó (T1), lo de no sentarme y solo prestar atención sin hacer nada más. Esas diferentes actividades como los juegos, vídeos y experimentos lo motivan más a uno, entonces se siente mejor (T4).</i> (Entrevista semiestructurada)
E8	<i>A mí lo que me motivaba en las clases era que me divertía, sobre todo con los juegos y los experimentos, creo que uno puedo aprender más mientras pueda divertirse (T3), porque incluso eso lo acompañamos con preguntas y explicaciones sobre las leyes, entonces por ahí uno mezclaba la diversión y el aprender (T3).</i> (Entrevista semiestructurada)

En la **Figura 5** se caracterizan cada una de las cuatro tendencias identificadas en los comentarios de la **Tabla 8**.

Figura 5*Tendencias acerca de la valoración de la propuesta didáctica*

Las interpretaciones realizadas por el investigador y los comentarios expuestos por los participantes funcionan como sustento para enunciar que la conjunción de los principios de la TASC y el DUA favoreció a la disposición para el aprendizaje durante el proceso de intervención. Como establece Moreira (2010), “el uso de diferentes perspectivas y planteamientos didácticos que impliquen la participación activa del estudiante y, de hecho, promuevan una enseñanza centrada en el alumno es fundamental para facilitar un aprendizaje significativo crítico” (p. 18), por lo que se puede interpretar que la propuesta de intervención didáctica facilitó el proceso de aprendizaje de los estudiantes en relación con el objeto de conocimiento de las Leyes de Newton.

A modo de cierre, se puede enunciar que la propuesta didáctica resultó favorable para contrastar las características del problema planteada, y favoreció a la participación activa de los estudiantes, pues se posicionaron como protagonistas de la construcción de conocimiento de las Leyes de Newton.

6.2 Potencialidades de la diversificación en el aula para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton

Esta categoría consiste en interpretar cuáles fueron los aportes que tuvieron las diversas estrategias y materiales de enseñanza para la construcción de representaciones sobre las Leyes de

Newton. A continuación, se presentan tres subcategorías, que se refieren a los aportes de las simulaciones computacionales, otros medios digitales y las prácticas experimentales para favorecer la construcción de representaciones acerca de las leyes.

Primero que todo, es importante mencionar qué se considera es un aporte, en este caso, se refiere a las características que el investigador interpreta como favorables para la construcción de representaciones de las Leyes de Newton, y también, las que destacan los participantes según su experiencia de interacción en las diferentes sesiones de clase. Luego, se estableció una pregunta que orienta la interpretación de la información recolectada para esta categoría: ¿De qué manera aportan los diversos materiales a la construcción de representaciones sobre las leyes?

6.2.1 Aportes de las simulaciones computacionales para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton

Las simulaciones computacionales usadas en la propuesta didáctica se relacionan con las aplicaciones de *Phet* y *Cloud Labs*, así como los videojuegos, ya que también son un tipo de simulación computacional. Luego, es importante mencionar que el uso de los simuladores se ubicó temporalmente en la primera parte de cada una de las sesiones de la intervención, por lo que tenían el rol de introducir a los participantes a las ideas generales de las Leyes de Newton y no a modo de consolidación de estas.

A partir de la implementación de la propuesta se observó que un factor importante de las simulaciones es su aspecto interactivo y la posibilidad de retroalimentación, para los estudiantes, ya que eran ellos quienes realizaban las acciones y notaban las implicaciones que estas tenían. Además, según los participantes, usar las herramientas disponibles en los simuladores resultó cómodo y entendible para realizar las actividades propuestas.

Ahora y de manera particular, se encuentran los videojuegos usados para la sesión de la Tercera Ley, estas herramientas propiciaron formas audiovisuales e interactivas de representaciones, donde los estudiantes pudieron observar comportamientos de los objetos en su interacción con fuerzas de acción y reacción. Por ejemplo, mediante el juego del tiro con arco (Juego en línea gratuito, véase **Anexo 4**), los participantes lograron identificar la necesidad de ejercer una fuerza de recarga sobre la flecha en la dirección opuesta al movimiento deseado para lograr el objetivo del juego. En la **Tabla 9** se exponen algunas de sus percepciones frente a las

siguientes preguntas: ¿Qué notas en cada lanzamiento de flecha de arco? ¿Por qué crees que el arquero primero debe arrastrar la flecha hacia atrás? (**Anexo 4**)

Tabla 9

Respuestas o comentarios de estudiantes relacionadas con el juego del tiro con arco

Estudiante	Comentario
E1	<i>El arquero arrastra la flecha hacia atrás para almacenar energía en el arco, lo que permite lanzar con mayor potencia.</i>
E2	<i>Lo que se ve en cada lanzamiento de flecha de arco es que se necesita tener un impulso o una fuerza para llegar hasta el tablero de arco.</i>
E3	<i>Porque al impulsar la flecha hacia atrás genera una fuerza contradictoria hacia adelante lo que permite que se impulse.</i>
E4	<i>La cuerda del arco al final queda temblando, para poder generar una cierta presión y velocidad.</i>
E5	<i>Se necesita arrastrar la flecha hacia atrás para aumentar la presión almacenada en el arco y así aumentar la velocidad y la fuerza con la que la flecha se lanza.</i>
E6	<i>El impulso hace que la flecha vaya hacia donde se apunta, para que la fuerza que hace la cuerda tensionada sobre la flecha hace que salga disparada.</i>
E7	<i>Para poder coger impulso y que así la flecha pueda coger fuerza a la hora de lanzarla.</i>
E8	<i>Noto que la cuerda y el brazo del lanzador se tensan, se lanza la flecha hacia atrás para así obtener una mayor fuerza de empuje al lanzarla.</i>

De acuerdo con lo observado en la **Tabla 9**, si bien los participantes no expresan de forma literal la ley se presenta una tendencia en las respuestas sobre que debe existir una relación entre la fuerza que actúa en un sentido y la fuerza de reacción en el sentido opuesto. De manera específica, todos los participantes mencionan que primero se debe arrastrar la flecha hacia atrás para almacenar ya sea un impulso, una fuerza o energía, lo que permitirá a la flecha salir disparada del arco y lograr llegar al objetivo lejano. En este sentido, es posible interpretar que el funcionamiento característico del juego en relación con la situación física del tiro con arco provee a los participantes un estímulo visual e interactivo para la construcción de una idea base acerca de la Tercer Ley de Newton.

Por otro lado, se encuentra el juego del *jet pack*, en este espacio la mayoría de los estudiantes manifestaron un comentario general: “*el propulsor debe empujar hacia abajo para que el personaje pueda ascender debido al jet pack*”, aunque, también se hace necesario enunciar que dos de ellos tenían la siguiente percepción, “*el jet pack hace una fuerza hacia arriba, ya que es esa dirección en la que se mueve el personaje*”. El contraste de las percepciones anteriores provocó un diálogo colectivo para debatir la idea, en el que los participantes relacionaron con la situación

del anterior videojuego y consolidaron la idea acerca de la necesidad de que la fuerza que debe ejercer el *jet pack* es contraria al movimiento deseado. Por lo anterior, se interpreta que similar al juego del tiro con arco, esta herramienta permitió a los estudiantes observar otras representaciones de la ley de acción y reacción, en tanto lograron identificar que el propulsor del *jet pack* debe realizar una fuerza en sentido contrario al movimiento, para que se produzca la fuerza de reacción que moverá al personaje de manera efectiva.

Finalmente, en cuanto a videojuegos, se encuentra aquel relacionado con el billar (Juego en línea gratuito, véase **Anexo 4**). En correspondencia surge la **Tabla 10**, donde se presentan respuestas de los participantes ante la siguiente pregunta: ¿Por qué crees que al golpear una bola de billar con otra la primera se empieza a detener y la segunda sale disparada?

Tabla 10

Respuestas o comentarios de estudiantes relacionadas con el juego del billar

Participante	Comentario
E1	<i>Porque a la hora de chocar una bola de billar una ejerce una fuerza sobre la otra haciendo que una se mueva y la otra se detenga o se dirija a otra dirección.</i>
E2	<i>Porque al golpear una bola de billar con otra, la primera se empieza a detener porque se hace una fuerza y transfiere esa fuerza a la segunda, lo que causa que salga disparada.</i>
E3	<i>Cuando dos bolas de billar chocan, cada una ejerce una fuerza sobre la otra, haciendo que entre si impulse una fuerza hacia varias direcciones.</i>
E4	<i>Porque en el momento en el que la primera bola de billar golpea a la segunda bola que es una fuerza, cambia la fuerza de impacto de la primera bola.</i>
E5	<i>Cuando golpeas y una y otra bola la golpea la primera se detiene debido a la transferencia de energía mientras que la segunda sale disparada debido al impulso.</i>
E6	<i>Porque el golpe de la bola impulsada hace que la otra bola quieta se mueva con fuerza, y la bola impulsada pierda su impulso.</i>
E7	<i>Porque la fuerza con la que la primera bola le pega a la segunda hace que tome impulso y al pegarle a la segunda, esta pierde la fuerza y por eso se empieza a detener.</i>
E8	<i>Cuando golpeamos una bola de billar con otra, se produce una transferencia de cantidad de movimiento y energía como resultado la primera bola se detiene o reduce su velocidad y la segunda se dispara a una dirección específica.</i>

Se pueden observar dos tendencias en las respuestas de los participantes. Primera, E1, E2, E3, E4, E6 y E7 reconocen que existen fuerzas en la situación física y, además, las bolas de billar ejercen una fuerza la una sobre la otra, idea que se asemeja a las características de las fuerzas de acción y reacción. Segunda, E2, E5, E6, E7 y E8 enuncian que debe haber una transferencia en el

choque de las bolas de billar, sea de energía, de fuerza, de impulso o de movimiento y energía, idea que puede reflejar un avance conceptual respecto a solo reconocer la presencia de fuerzas.

Lo anterior por dos razones, la primera es el acercamiento que hacen los participantes a lo que ocurre en el fenómeno físico del choque de las bolas de billar, que es una transferencia de momento, y la segunda, sus expresiones cuentan con el lenguaje relacionado al objeto de estudio, lo que se relaciona con los enunciados teóricos de Moreira (2010) y el principio del conocimiento como lenguaje. De esta manera, lo que se interpreta a partir de las respuestas de los estudiantes es que el juego logró proveer a los participantes una representación del comportamiento de las fuerzas de acción y reacción en el choque entre las bolas de billar.

En este orden de ideas, se puede interpretar que los videojuegos fueron herramientas que aportaron a la construcción de representaciones sobre las leyes en el sentido que permitieron a los estudiantes establecer un contacto inicial con situaciones físicas relacionadas con estas. Adicionalmente, tuvieron el potencial de ofrecer respuestas rápidas a las acciones de los participantes, para retroalimentar las percepciones y representaciones que construían acerca de la relación entre fuerzas de acción y reacción, así como su característica de tener sentidos de dirección opuestas. Por lo tanto, se establece una correspondencia con el elemento teórico de la investigación de la conjunción entre el principio de la TASC del aprendiz como perceptor representador y el principio fundamental del DUA acerca de ofrecer múltiples tipos de representación.

En relación con el aporte de los simuladores *Cloud Labs* y *Phet*, se observó que el primero fue una herramienta con el potencial de favorecer los procesos de visualización referentes a las relaciones de proporcionalidad entre la fuerza, masa y aceleración presentes en una situación física. Por otra parte, se contempló que la herramienta tecnológica *Phet* permitió a los participantes la posibilidad de realizar experimentos rápidos acerca del movimiento de diversos objetos cuando interactúan con diversas fuerzas. En particular, evidenciaron de qué manera influyen variables como la fuerza aplicada y su dirección, la masa de los objetos y la fricción del suelo en situaciones físicas donde se observa el movimiento de un cuerpo. Además, según los participantes, este simulador resultó más complejo de utilizar que las anteriores tecnologías, por lo que fue necesario explicar con mayor detalle las posibilidades que ofrecía.

Para complementar las interpretaciones anteriores, a continuación, se exponen fragmentos de conversaciones ocurridas en la sesión de clase en que se usó el simulador de *Cloud Labs*, los cuales se extraen del diario de campo.

Fragmento 1: "*¿Qué crees que sucede si la mayor cantidad de masa se coloca en el porta pesas?... El carro va más rápido, corre más ... ¿Por qué crees que sucede esto? ... Ahm, por la fuerza, esto acá (se refiere a la masa del porta pesas) hace mucha fuerza, entonces empuja al carro, mientras más peso haya acá entonces habrá más fuerza que empuje al carro, así que más rápido corre el auto*".

Fragmento 2: "*¿En qué situaciones has observado que el tiempo de movimiento del automóvil es el mayor? ... Cuando se demora más pasa porque no hay peso acá en el porta pesas ... ¿Por qué pasará eso, qué piensas? ... Jm, yo creo que si no hay mucho peso entonces no tiene como fuerza, pues, tanta, entonces no es capaz de empujar el auto hacia al otro lado rápido, entonces se demora más el tiempo*".

Se puede interpretar a partir de los dos fragmentos que la simulación de *Cloud Labs* tuvo el potencial de permitir a los estudiantes realizar experimentos y recibir la retroalimentación de la aplicación, lo que favoreció al acercamiento a una representación lingüística y visual acerca de la relación de proporcionalidad existente entre la aceleración, fuerza y masa de la situación física, la cual corresponde al funcionamiento de la Segunda Ley de Newton.

Adicionalmente, en la **Tabla 11** se presentan comentarios de los participantes del estudio acerca del trabajo con las herramientas tecnológicas de las simulaciones. Algunos se extraen de los productos de clase entregables (**Anexo 6** y **Anexo 7**), mientras que los otros corresponden a las entrevistas semiestructuradas.

Tabla 11
Comentarios de los participantes acerca de las simulaciones computacionales

Participante	Productos de clase	Entrevista
E1	<i>El simulador me permitió entender mejor esta ley gracias a los ejercicios que hicimos, porque se podía ver el funcionamiento diferente en cada uno.</i>	<i>Yo diría que con lo que más pude aprender fue con las simulaciones porque sentía como que uno mismo solo podía ver cómo llegaban a funcionar las cosas y cómo calcularlas, uno mismo como a su ritmo, por así decirlo.</i>
E2	<i>Me permitió entender mejor la Segunda Ley de Newton ya que era fácil de manejar, de utilizar y entender.</i>	<i>Destaco de las simulaciones y los juegos la interacción de las aplicaciones, eso ayudaba a que fuera fácil usarlas y se hacían las actividades con comodidad.</i>
E3	<i>Sí, ya que podemos ver cómo cambia de peso y cómo se mueve con distintos pesos a la hora de arrancar, además fue dinámica y más fácil de entender.</i>	<i>Yo veía de favorable sobre las simulaciones también a aprender, porque esos nos ayudaron a ver las cosas y mediante uno haciendo con el programa uno va aprendiendo realmente cómo funcionan las cosas, entonces eso fue bueno.</i>

Participante	Productos de clase	Entrevista
E4	<i>El simulador me ayuda a aprender mejor porque son mejores las descripciones gráficas que la simple teoría.</i>	<i>Con las simulaciones y los experimentos como tal uno puede entender más fácil, porque prácticamente es de primera mano con que uno hace las cosas y entonces diría yo que para mí es más fácil así.</i>
E6	<i>La simulación Cloud Labs me ayudó a comprender la Segunda Ley de Newton pues mientras aprendo me divierto y observo qué pasa en cada caso cuando iba probando.</i>	<i>Me parece que fueron fáciles de usar, entonces eso fue cómodo.</i>
E7	<i>Sí me ayudo porque aprendimos que depende del peso para la velocidad y la fuerza.</i>	<i>Con las simulaciones, porque es como, es algo que nosotros mismos estamos aprendiendo, no algo que ya nos están diciendo, o sea, en los vídeos ya nos están diciendo cómo hacerlo, en cambio con los computadores con el simulador del carro, por ejemplo, nosotras estábamos ahí probando, haciendo y viendo qué pasaba al mover los pesos de un lugar a otro, y ya por medio de la lógica hacíamos, porque uno haciendo las cosas aprende no viéndolas cómo lo hacen los demás. Entonces es eso, las simulaciones nos permiten hacer y no solo ver, a diferencia de las clases comunes.</i>

En este orden de ideas, es posible enunciar que la estrategia alrededor de los simuladores utilizados en la propuesta de intervención didáctica aportó al proceso de construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton de los participantes. Lo anterior, en la medida que ofreció a los estudiantes un espacio dinámico en cual lograron interactuar con experimentos relacionados con las tres leyes. Asimismo, dicho espacio otorga el potencial a los participantes del estudio de analizar cuáles son los resultados de sus acciones para establecer tendencias de pensamiento y relaciones de causalidad entre los conceptos relacionados a las leyes.

A modo de cierre, se puede establecer un contraste entre el uso de los videojuegos y las simulaciones computacionales. Los primeros lograron introducir a los estudiantes al estudio de las Leyes de Newton de manera amena y dinámica, además, aportaron esencialmente a la comprensión cualitativa de los fenómenos físicos relacionados con las leyes. Mientras que los simuladores ayudaron a los participantes a la comprensión de las matemáticas relacionadas con las leyes, y a la matematización de los fenómenos físicos trabajados.

6.2.2 Aportes de otros medios digitales para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton

En esta sección los otros medios digitales se refieren a las herramientas de la aplicación de *Nearpod* y los vídeos presentados, es decir, los que sintetizan cada una de las tres leyes y las escenas de películas.

Respecto a *Nearpod*, es preciso mencionar que fue el recurso que permitió establecer comunicación con los estudiantes, para facilitarles los enlaces de los juegos, presentarles información relacionada con las leyes y ofrecerles otras formas de responder a las preguntas planteadas en cada situación diferentes a la escritura en papel, como el texto o dibujo digital. Lo anterior para lograr acercarse a la conjunción de los principios de diversificación, relacionados con la TASC y el DUA, expuestos anteriormente.

De manera particular, el participante E4 menciona lo siguiente respecto a esta herramienta: *“Me hizo enfocarme más fue cuando colocábamos la respuesta en el computador, la de Nearpod. Nosotros estábamos con el juego o simulador, y luego entonces la pregunta probábamos y respondíamos, eso era con lo que más me identifique para aprender más a fondo”*. Ningún otro participante mencionó algo de manera particular relacionado con la herramienta, la apreciación general sobre este medio interactivo fue positiva en tanto facilitó la comunicación y ofreció diversas formas de expresión e implicación a los participantes.

Por otro lado, se encuentran los vídeos mencionados en el capítulo de metodología. A partir de la observación se puede interpretar que estos recursos digitales aportaron en tanto funcionaron como medios organizadores de las percepciones de los estudiantes. Para complementar la anterior idea se enuncian algunos episodios ocurridos relacionados con el uso de los vídeos:

Al finalizar la proyección del vídeo de la tercera ley se preguntó a los participantes cómo se reflejaba lo expuesto en las situaciones trabajadas con los videojuegos, en particular, se destacan dos comentarios, E2: *“Entonces, por ejemplo en el tiro con arco, la fuerza de acción es cargar la flecha y la de reacción sería la fuerza cuando sale disparada hacia al otro lado”*, y en relación con el *jet pack*, E6: *“cuando se prende el jet pack ahí está ejerciendo la fuerza de acción hacia abajo, y el suelo lo va empujando hacia arriba, por lo que sube, esa sería la fuerza de reacción, y ya cuando lo vuelve a apagar, baja por la gravedad”*. En este sentido, se puede interpretar que el vídeo permitió aclarar representaciones que previamente tenían los estudiantes acerca de las situaciones relacionadas con la ley en cuestión. Asimismo, se observa cómo después de escuchar

los conceptos del vídeo, las representaciones de los estudiantes cuentan con descripciones acordes al lenguaje propio de las leyes, factor que actúa como reflejo del principio de la TASC del conocimiento como lenguaje.

Lo anterior sucedió de manera similar con las otras dos leyes. Sin embargo, es importante mencionar que para potenciar el uso de los vídeos fue necesario realizar cuestionamientos a los participantes, para mediar la información expuesta por el material audiovisual y lo observado en la interacción con la simulación computacional de la sesión respectiva. Así, se presentan a continuación situaciones en relación tanto con la Segunda como la Tercera Ley de Newton:

- E2: *"El tren tiene mucha fuerza en ese momento en esa dirección, va muy rápido por lo que es difícil de parar por la inercia, entonces él (Spiderman) va a hacer la fuerza en el sentido contrario y se apoya en los edificios para hacer como más fuerza, ya que no tiene la suficiente así solo"*.
- E4: *"Por ejemplo con la situación del martillo y del muro, si son del mismo material los martillos, pero uno pesa más que el otro entonces con ese podemos hacer más fuerza"*.
- E8: *"Entonces si al auto de acá del simulador le ponemos muchas masas y no ponemos en el otro extremo (el porta pesas), es más difícil que lo pueda acelerar, ya que no cuenta con la suficiente fuerza"*

Por otra parte, los participantes realizaron algunos comentarios relacionados con el uso de los vídeos por medio de los productos de clase (**Anexo 6** y **Anexo 7**), los cuales se presentan en la **Tabla 12**.

Tabla 12
Comentarios de los participantes acerca de los vídeos

Participante	Comentarios
E1	<i>Me ayudaron a entender de una mejor forma cómo funciona la ley.</i>
E2	<i>Me ayudaron porque son distintas formas de explicar una misma cosa y puedes aprender más fácil.</i>
E3	<i>Gracias a los esquemas de los vídeos me ayuda a comprender mejor.</i>
E4	<i>La practicidad de los vídeos y las animaciones me ayudan a entender mejor.</i>
E5	<i>Los vídeos son explicativos y nos enseñan de manera práctica y sencilla.</i>

Participante	Comentarios
E6	<i>Me ayudaron bastante porque me ayudaron a descifrar las leyes y hacer simulaciones de situaciones.</i>
E7	<i>Los vídeos me ayudan porque son explicativos y nos enseñan de manera práctica y sencilla.</i>
E8	<i>Al ver un vídeo que relaciona el tema con situaciones o ejemplos permite más el entendimiento.</i>

A partir de los comentarios de los participantes se puede interpretar que los vídeos aportaron a la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton en tres sentidos. En primer lugar, E1, E5, E6 y E7 destacan que los vídeos ayudaron para organizar la información sintética de las leyes, ya que explican de una forma sencilla. En segundo lugar, E2, E3 y E4 recalcan la distinción de los vídeos a través de sus características propias, como las animaciones o los esquemas. Por último, E5, E6, E7 y E8 enfatizan que los vídeos les ejemplificaban las leyes a partir de situaciones prácticas de la vida real, lo que favoreció a su aprendizaje.

Otro punto por destacar se relaciona con la mediación efectuada alrededor de los vídeos, es decir, el planteamiento de preguntas a los participantes, las cuales cuestionaban acerca de qué ocurría en la situación física de los vídeos si se modificaba alguna variable presente. Por lo que es menester añadir algo al uso del vídeo, y no limitarse a la visualización de este para potenciar la construcción de conocimiento.

Por lo anterior, se puede interpretar que la estrategia relacionada con el uso de vídeos favoreció a la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton.

6.2.3 Aportes de las prácticas experimentales para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton

A partir del proceso de observación se pueden destacar cuatro factores relacionados con la estrategia de los experimentos. En primer lugar, la temporalización, puesto que se observó que la acción de proyectar los vídeos sintéticos de las leyes antes de los experimentos fue favorable para los procesos de comprensión de los participantes, ya que, gracias a estos, los estudiantes fortalecieron el lenguaje relacionado con las Leyes de Newton para describir y compartir sus percepciones acerca del experimento. Lo anterior se relaciona con el principio del conocimiento como lenguaje de la TASC, y se refleja a partir de comentarios de algunos participantes al realizar los experimentos.

E4, respecto a la práctica del globo: *“La liberación del aire es hacia un lado, esa sería la fuerza de acción y la de reacción es la que hace que se mueva el globo al otro lado de la cuerda”*. Sofía, en relación con la misma práctica: *“El aire sale como a presión y eso sería la fuerza de acción, entonces ahí el aire empuja al globo al otro lado, siendo la fuerza de reacción”*.

En segundo lugar, se encuentra la consolidación de las representaciones que habían sido construidas previas a las prácticas experimentales. Para ejemplificar esta idea se encuentra lo acontecido en la sesión referida a la Segunda Ley de Newton, donde la práctica experimental consistió en el movimiento de pelotas de diversas masas cuando interactúan con distintas fuerzas. Dicha práctica aportó a los participantes, mediante aspectos como la tangibilidad y sensibilidad, una mejor comprensión sobre la idea principal de la ley; es decir, las relaciones de proporcionalidad entre la fuerza, masa y aceleración presentes en una situación física.

En tercer lugar, se encuentra el proceso de cuestionamiento a los estudiantes y su importancia para promover la habilidad de establecer hipótesis previas y de proponer alternativas de solución para una situación física. Al respecto, situaciones relacionadas sucedieron alrededor del trabajo con la Segunda Ley como se presenta a continuación:

Fragmento 1 (Extraído del diario de campo): *"Si tenemos estas dos pelotas que difieren en su masa, ¿podemos hacer que lleguen al mismo lugar si las lanzamos con la misma fuerza? ... No podría ser la misma fuerza, porque entonces la que pesa menos llegaría más lejos al conseguir más aceleración, y la otra no tan lejos, entonces a la de menos masa debemos golpearla con una fuerza menor"*. Luego de este comentario general procedieron a intentar el experimento y sentir qué tanta es la diferencia entre las fuerzas que aplicaron sobre las diferentes pelotas que tenían.

Fragmento 2 (Extraído del diario de campo): *"Si lanzamos dos pelotas con la misma fuerza en una dirección y una llega más lejos que la otra, ¿eso qué significa? ... Las masas sería, una es menos pesada que la otra, entonces como se lanzan con la misma fuerza las aceleraciones serían diferentes, porque depende de las masas de las pelotas, la que llega más lejos tiene menos masa y la otra pues, al contrario, debería tener más masa si no llega lejos"*. En este sentido, los participantes procedieron con el experimento para obtener información, confirmar las percepciones que tenían y así consolidar la representación respectiva de la ley.

Asimismo, situaciones similares a las anteriores sucedieron en la sesión relacionada con la Primera Ley, donde los participantes declaran de manera colectiva que *"Cuando golpeamos la carta entonces es la que recibe la fuerza, pero como a la moneda no le estamos dando (golpeando)*

entonces se mantiene quieta por la inercia, ya que no le damos fuerza a ella". Comentario que complementan al establecer una relación con el vídeo proyectado antes del experimento, "como vimos en el vídeo, acá en la carta y la moneda hay inercia al estar quietas, debemos aplicar fuerza para que se muevan, a la moneda no la golpeamos y por eso se queda en la mano".

Para finalizar, también se destaca de las prácticas experimentales el aspecto kinestésico, en tanto los participantes del estudio comentaron en reiteradas ocasiones que los experimentos aportaron al aprendizaje de las Leyes de Newton, en tanto podían sentir el aprendizaje por su "propia mano". Manifestaron que por medio de esta forma de aprender sienten que crean y realizan las cosas por sí mismos, no se limitan a ser observadores frente a una situación física. Para reforzar esta interpretación, en la **Tabla 13** se presentan las palabras de algunos participantes respecto a la experiencia relativa a las prácticas experimentales, las cuales se extraen tanto de los productos de clase como de las entrevistas semiestructuradas.

Tabla 13
Comentarios de los participantes acerca de las prácticas experimentales

Participante	Productos de clase	Entrevista
E1	<i>Me ayudaron a observar mejor cómo funciona la ley.</i>	<i>Me parecieron más interesantes fueron los experimentos por el hecho de que, como dije anteriormente, salíamos de lo rutinario y también con ellos vimos cómo funcionaban las cosas, pero de una manera diferente y desde otra perspectiva.</i>
E2	<i>Los juegos con la pelota me ayudaron, ya que podía observar y entender lo que me explicaban, entonces podía probar con la pelota y ver qué pasaba en cada caso.</i>	<i>Los experimentos me ayudaron mucho ya que podíamos observar y entender lo que nos estaban explicando como con algo práctico.</i>
E3	<i>Sí, porque son formas distintas de explicar una misma cosa y con una de ellas puedes aprender más fácil.</i>	<i>Los juegos y los experimentos. Porque fueron muy interactivos, entonces yo pienso que de esa manera es más fácil aprender mientras uno se motiva.</i>
E5	<i>Sí, ya que es algo dinámico y en lo dinámico se aprende mejor.</i>	<i>Hicimos varios experimentos, y por ejemplo esa vez con las pelotas, que tenían diferentes masas y nosotros éramos los que les pegábamos para notar qué tan lejos iban con distintas fuerzas, ahí aprendí que usar mucha fuerza implica que la pelota llegaba más lejos, tenía más aceleración que cuando uno le hace menos fuerza.</i>
E6	<i>Los experimentos me ayudaron porque me dan una visión más clara sobre cómo se comporta la ley.</i>	<i>Yo creo que con los experimentos aprendí más, porque son como más dinámicos y uno ve y hace, entonces se aprende mejor así.</i>

Participante	Productos de clase	Entrevista
E7	<i>Sí, son explicativas y nos enseñan de manera práctica y sencilla.</i>	<i>A mí me gustó el experimento del globo, y recuerdo que la fuerza de acción es con el aire que sale del globo, que empuja al aire, y la de reacción es cuando se mueve hacia al otro extremo de la cuerda, pues, la que produce ese movimiento que es el aire que lo empuja, entonces son en direcciones contrarias.</i>
E8	<i>Sí, ya que te muestran paso a paso cómo hacer o guiarte en los trabajos.</i>	<i>Aprendí más con los experimentos, creería, porque es como más dinámico. O sea, hacíamos simulaciones y todo, pero cuando uno hace el experimento es como ya, uno sabe cómo es que funciona la ley, la puede ver.</i>

A partir de lo anterior, se puede interpretar que las prácticas experimentales aportaron a la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton de los participantes, en tanto funcionaron como espacios dinámicos donde los participantes lograron observar de una manera práctica su funcionamiento. Este factor está en correspondencia con lo expuesto en Castrillón et. al (2020), donde se reporta que las prácticas experimentales posibilitan a los estudiantes construir representaciones que dan cuenta de las relaciones entre variables de un fenómeno físico. Asimismo, se puede establecer una relación con los elementos teóricos de la investigación del DUA y la TASC, pues a partir de las prácticas experimentales se refleja la importancia de ofrecer múltiples medios de representación, expresión e implicación a través de diversas estrategias y materiales de enseñanza, en orden de atender las diversas maneras que tienen los estudiantes para percibir y representar el conocimiento.

6.3 Sistemas representacionales sobre las Leyes de Newton

Esta categoría busca interpretar y caracterizar las representaciones sobre las Leyes de Newton que los participantes construyeron o manifestaron en la propuesta didáctica. De esta manera, se constituyen dos subcategorías, las representaciones lingüísticas y las gráficas, caracterizadas a partir de la teoría de Eysenck y Keane (2005).

6.3.1 Representaciones lingüísticas sobre las Leyes de Newton

En orden de establecer correspondencia con los objetivos planteados en esta investigación, se describirán dos conjuntos de representaciones lingüísticas que los participantes manifestaron, estos conjuntos se corresponden con una temporalidad de antes de la propuesta de intervención

didáctica y, durante o después de esta. Lo anterior con el fin de establecer un contraste entre ambos conjuntos e interpretar de qué manera las representaciones se modificaron.

Primero que todo, es pertinente mencionar que este tipo de representaciones son las más comunes, puesto que fueron expresadas a través de la oralidad de los estudiantes o de manera textual en cada uno de sus productos de las sesiones de clase. En este sentido, algunas representaciones previas de los participantes se observaron en el cuestionario diagnóstico (**Anexo 1**), las cuales se exponen en la **Tabla 14**.

Tabla 14

Representaciones lingüísticas de las Leyes de Newton antes de la propuesta didáctica

Participante	Pregunta Cuestionario	Representación	Ley de Newton relacionada
E1	1	<i>Considero que la bicicleta sigue moviéndose, pero en algún punto se detiene, la bicicleta sigue moviéndose por el impulso que uno mismo le dio al principio cuando pedaleó.</i>	1
E3	1	<i>Yo considero que instantáneamente se sigue moviendo puesto que sigue adelante con el impulso que uno mismo le da a la hora de pedalear.</i>	1
E4	1	<i>La bicicleta se detiene momentos después porque se sigue moviendo con el impulso que obtiene.</i>	1
E6	1	<i>La bicicleta sigue moviéndose hasta que pierda el impulso y se detenga o se empiece a balancear.</i>	1
E2	3	<i>Sí hay objetos que son más fáciles de cargar o mover ya que se tiene muy en cuenta el material, o la presión que se ejerce.</i>	2
E3	4	<i>Yo digo que en el instante por su velocidad pegaría más un balón por ser ciertamente impredecible, pero el carro puede causar más daño.</i>	2
E5	4	<i>La pelota ya que esta va con mayor velocidad y el impacto es más fuerte que el auto que va más despacio.</i>	2
E7	3	<i>Sí, si son livianos o tienen una forma de diseño fácil de agarrar.</i>	2
E1	5	<i>Yo digo que podría ser como la presión o impulso de los motores.</i>	3
E2	2	<i>Se produce el salto porque al saltar hacemos una flexión para tener un impulso, pero por la gravedad que hay en la tierra hace que volvamos al suelo.</i>	3

Participante	Pregunta Cuestionario	Representación	Ley de Newton relacionada
E7	2	<i>Podemos saltar porque nuestro cuerpo y fuerza permiten impulsarnos hacia arriba, haciendo suficiente fuerza e impulsando las piernas con fuerza hacia arriba.</i>	3
E8	5	<i>Por la presión que el combustible le da al cohete y poder coger impulso y poder despegar.</i>	3

La información expuesta en la **Tabla 14** es un reflejo de que los participantes poseen la capacidad de percibir el mundo y representarlo, por lo que cuentan con representaciones previas que tienen significados particulares para ellos. En este sentido, los resultados se corresponden con la conjunción teórica establecida entre los principios de aprendizaje como perceptor representador y de conciencia semántica de la TASC, y el principio de múltiples formas de representación del DUA.

Asimismo, a partir de la **Tabla 14** se observan algunas ideas que los participantes manifiestan alrededor de las Leyes de Newton: respecto a la primera, los estudiantes afirman que la bicicleta continuaría en estado de movimiento al dejar de pedalear debido al impulso que se conserva gracias al pedaleo; en relación con la segunda, E2 y E7 caracterizan que la facilidad para cargar o mover un objeto se relaciona con el material del que está constituido o si cuenta con una estructura física cómoda para el agarre humano, mientras que E3 y E5 asocian que la fuerza de impacto de pelota es mayor debido a su gran velocidad, en comparación al automóvil; y, en relación con la tercera ley, E2 y E7 asocian la acción de saltar con un impulso o fuerza en dirección hacia arriba, mientras que E1 y E8 consideran que un cohete tiene la capacidad de ascender debido a que existe una presión que otorga un impulso para despegar.

De esta manera, se observa que las representaciones previas de los participantes no se caracterizan por poseer un lenguaje relacionado con el objeto de estudio de las Leyes de Newton, en tanto no se presentan conceptos como la fuerza, aceleración, masa, inercia o fuerzas de acción o reacción. Sin embargo, existe un reconocimiento por parte de E2 y E7 de que las fuerzas se relacionan con una dirección.

En este orden de ideas, se puede interpretar que las representaciones de los participantes presentes en el instrumento del cuestionario se caracterizaron por ser ideas intuitivas o relacionadas con las creencias o experiencias de cada uno de ellos.

Por otro lado, se encuentran las representaciones de los estudiantes durante y después de la propuesta didáctica. Para presentar esta información se exponen los siguientes dos apartados: primero, fragmentos de episodios ocurridos durante las sesiones de clase; y segundo, la **Tabla 15**, donde se encuentran algunas representaciones lingüísticas de los participantes, que fueron extraídas de productos de clase.

Durante la sesión de clase de la Tercera Ley de Newton, se presentan las siguientes percepciones de los participantes luego de la interacción con videojuegos, vídeos y experimentos:

- E2: *"Cuando nadamos también, entonces ahí sería por los brazos, los movemos hacia atrás y empujamos al agua, esa es la fuerza de acción, luego el agua nos empuja de vuelta, nos impulsa hacia delante, esa sería la fuerza de reacción".*
- E3: *"Lo que vimos con el cohete es similar a lo de los propulsores del jet pack, o el avión que también lo vimos, se prende el motor o las turbinas, entonces enciende y la acción es la fuerza hacia abajo o para un lado si es el avión, y ya la reacción es la fuerza que permite que se mueva, para arriba del suelo sería la del cohete, o al frente si es del avión, o sea, en direcciones contrarias"*
- E4: *"Entonces, por ejemplo, con el submarino, la hélice hace una fuerza de empuje al agua cuando gira la hélice, que sería la acción, y el agua es la que empuja de vuelta al submarino hacia delante, sería esa la de reacción la fuerza, por ese puede moverse".*
- E6: *"El aire sale del globo y ahí genera una fuerza hacia atrás, si nosotros ponemos la mano cuando sale el aire se puede sentir como una presión o empuje, entonces esa fuerza sería la acción, y la reacción es cuando el globo sale impulsado hacia delante".*

Luego, en relación con la sesión de clase de la Segunda Ley de Newton, mientras los participantes interactuaron con el simulador de *Phet*:

- E4: *"Por ejemplo con la nevera, acá (se refiere al simulador) no se puede mover, porque no hay la fuerza suficiente, pesa mucho la nevera. Pero si le damos con el señor que pesa menos, lo podemos mover con esta fuerza y si le damos toda la fuerza va más rápido por la aceleración que consigue".*
- E7: *"Acá (se refiere al simulador) aplico una fuerza para mover la caja y la niña, pero si aplico poca no se mueven y ya entonces le subo la suficiente fuerza para que se*

empiecen a mover. Pero si quitamos a la niña, entonces la fuerza que se necesita es menos, porque hay menos masa".

Por último, respecto a la sesión de clase de la Primera Ley de Newton, en un diálogo colectivo y en el espacio de interacción con el simulador *Phet*:

Fragmento 1: *"Entonces, ¿qué nos puede suceder dentro de un bus cuando frena de repente? ... cuando el bus va como muy rápido y frena uno se va para adelante, por lo que vimos de la inercia, o sea, uno tiene la misma velocidad que el bus y ya frena, entonces debido a esa velocidad uno se impulsa para adelante"*

Fragmento 2: *"¿Cómo podemos cambiar el estado de reposo de los objetos del simulador? ... Profe, pero depende, mire que con la nevera, aunque le dé a toda la fuerza no se mueve, ya con la caja o la niña sí, hay que aplicar una fuerza suficiente para cambiar el reposo en el que están los objetos".*

Fragmento 3: *"¿Cómo hacemos para cambiar el estado de movimiento de un objeto y que pueda dejar de moverse? ... Yo encontré varias formas, por ejemplo, si dejamos de aplicar la fuerza a la caja entonces al rato se va a detener, otra es que le podemos aumentar la masa, si ponemos la nevera entonces la fuerza que había aplicado ya no es suficiente y también luego se va a detener. Ya la última que encontré es la fricción, aquí (en el simulador) aumento la fricción y es más difícil que puedan moverse los objetos con la misma fuerza, si no es mucha, entonces se detiene".*

Tabla 15

Representaciones lingüísticas de las Leyes de Newton de los productos de clase

Participante	Producto de clase	Representación	Ley de Newton relacionada
E1	Situación 6 (Anexo 7)	<i>Progresivamente el auto se iría deteniendo ya que al principio hubo una clase de fuerza de empuje por pisar el acelerador.</i>	1
E4	Situación 3 (Anexo 7)	<i>Sí, afecta a la posición del individuo por la inercia y el freno aplicado. La inercia hace que nos desestabilicemos haciendo que perdamos el equilibrio yendo hacia adelante como si fuera un empujón, porque el individuo tiene la velocidad del bus.</i>	1
E7	Situación 1 (Anexo 7)	<i>El movimiento de las aspas del ventilador puede continuar debido a la inercia con la que contaban debido al impulso del motor del ventilador.</i>	1

Participante	Producto de clase	Representación	Ley de Newton relacionada
E1	Situación 4 (Anexo 6)	<i>En este caso, el balón sería más fácil de parar porque tiene una masa menor que la del auto. Por otra parte, las situaciones en las que se requiere mayor fuerza es cuando la aceleración del objeto es alta.</i>	2
E2	Situación 2 (Anexo 6)	<i>Con el martillo más grande y el que cuenta con mayor masa, ya que se puede ejercer más fuerza con facilidad y hacer un mayor impacto.</i>	2
E3	Situación 5 (Anexo 6)	<i>Depende de la masa y el peso que tiene la caja, la podrías cargar si tiene menor masa y peso, y no la podrías cargar cuando tiene mayor masa y peso.</i>	2
E6	Situación 6 (Anexo 6)	<i>Se hace más fuerza cuando te golpeas corriendo pues vas con mayor aceleración.</i>	2
E5	Situación 4 (Anexo 3)	<i>Para empujar el agua hacia atrás, y así le damos impulso a la barca para seguir adelante.</i>	3
E7	Situación 5 (Anexo 3)	<i>Cuando el aire sale rápidamente del globo ejerce una fuerza de acción en dirección opuesta a la de reacción, que impulsa el globo hacia delante.</i>	3
E8	Situación 6 (Anexo 3)	<i>Al mover los brazos hacia atrás durante la fase de impulso, se genera una fuerza que empuja el agua hacia atrás lo que a su vez impulsa el cuerpo hacia delante. En este caso la fuerza de acción sería la que se hace con los brazos y la de reacción el impulso hacia delante que provoca el movimiento.</i>	3

A partir de los dos apartados anteriores se observa cómo las representaciones que construyeron los participantes se caracterizan por el uso de conceptos nuevos, pertenecientes al lenguaje propio relacionado con las Leyes de Newton. Adicionalmente, se puede observar en las representaciones relacionadas con la segunda ley que los participantes lograron establecer la relación de proporcionalidad entre la masa, aceleración y la fuerza. En este sentido, y según lo que establece Moreira (2010) en el principio del conocimiento como lenguaje de la TASC, los participantes desarrollaron conocimientos acerca de las leyes, lo que se manifiesta a partir de la consolidación de sus representaciones.

6.3.2 Representaciones gráficas sobre las Leyes de Newton

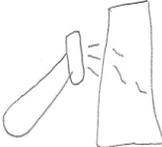
En relación con las representaciones de orden gráfico existieron tres tendencias en los resultados de los participantes. En primer lugar, gráficos que funcionaron para complementar las

representaciones de orden lingüístico. En segundo lugar, se encontró que los participantes representaron la masa de un objeto a través dos procesos, aumentar el tamaño del objeto o aumentar la cantidad de objetos. Finalmente, la última tendencia se relaciona con el acercamiento a representaciones de orden vectorial que algunos estudiantes manifestaron sobre las fuerzas presentes en situaciones físicas.

En relación con la primera tendencia se expone la **Tabla 16**. Donde los participantes E5, E6 y E7 complementan una representación lingüística con una gráfica.

Tabla 16

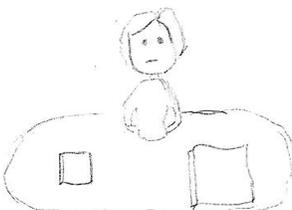
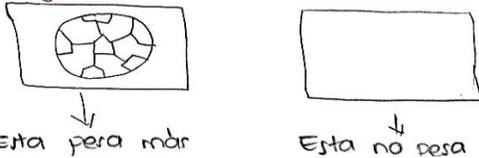
Representaciones gráficas de las Leyes de Newton para ilustrar una situación física

Participante	Producto de clase	Representación Gráfica	Representación Lingüística
E5	Situación 1 (Anexo 6)		<i>El de futbol porque es más pesado y con la fuerza de la persona se daría un mayor golpe.</i>
E6	Situación 6 (Anexo 6)		<i>Se hace más fuerza cuando te golpeas si vas corriendo pues vas con mayor aceleración.</i>
E7	Situación 2 (Anexo 6)		<i>El martillo que tumba el muro más fácil es el que tiene mayor masa.</i>

Se puede observar que las representaciones de la **Tabla 16** no cuentan con elementos indicativos de fuerzas, como flechas o un distintivo similar. En este sentido, se interpreta que la intención de los participantes solo fue ilustrar una idea relacionada con la situación física particular que le correspondió a cada uno en la actividad.

Respecto a la segunda tendencia se presenta la **Tabla 17**. Donde los participantes reflejaron gráficamente la característica de la masa por medio de aumentar el tamaño de los objetos o de aumentar la cantidad de estos.

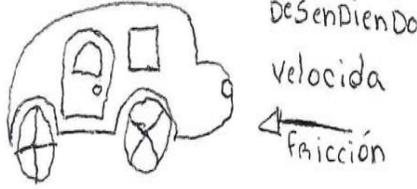
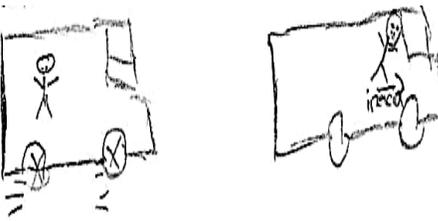
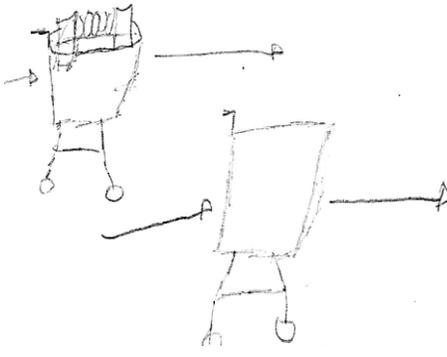
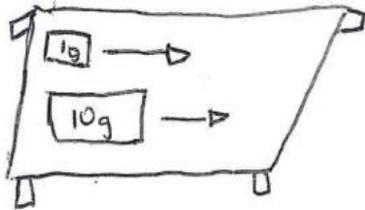
Tabla 17*Representaciones gráficas de las Leyes de Newton relacionadas con la masa*

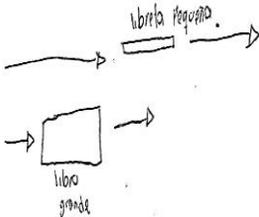
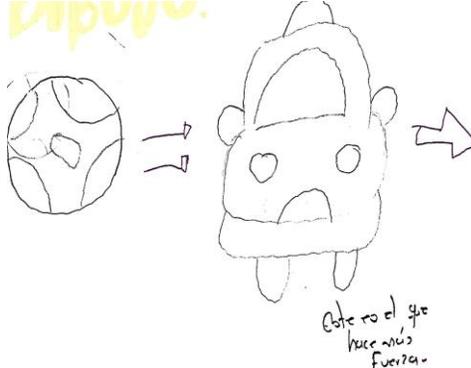
Participante	Producto de clase	Representación Gráfica
E2	Situación 2 (Anexo 6)	<p>① Con el martillo más grande y con más masa porque al tener más masa es menor la fuerza con la que tendría para poder tumbar el muro, ya que el peso de ese martillo es mucho más fuerte</p> <p>Dibujo</p> 
E5	Situación 7 (Anexo 6)	 <p>la libreta porque es más liviana entonces tiene mayor aceleración.</p>
E8	Situación 5 (Anexo 6)	<p>2. Depende del peso, se podría cargar con la caja mientras sea liviana y no se podría cuando sea pesada</p> <p>Dibujo</p> 

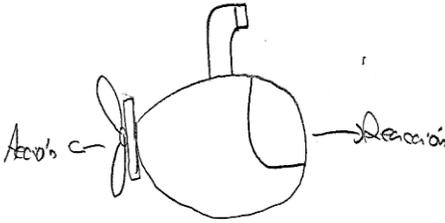
De manera particular, respecto a la representación gráfica de E2 de la **Tabla 17** se destaca la presencia del resultado de la fuerza aplicada con los martillos. En la pared se observan dos grietas, las cuales son producidas por los martillos, estas se diferencian en su tamaño. La más grande está asociada al martillo con mayor masa, por lo que se identifica que el participante E2 representó la fuerza ejercida por los martillos a partir del resultado de la situación física en cuestión.

Por último, las representaciones asociadas a la tercera tendencia se presentan en la **Tabla 18**, donde se incluyen los comentarios manifestados por los participantes acerca de sus representaciones gráficas y lo que estas significaban. A partir de la observación, se interpreta que los participantes establecieron un acercamiento a representaciones de orden vectorial, ya que utilizan flechas para ilustrar fuerzas en una dirección, presentes en las situaciones físicas abordadas.

Tabla 18*Representaciones gráficas de las Leyes de Newton relacionadas con las fuerzas*

Participante	Producto de clase	Representación Gráfica	Comentario del participante
E1	Situación 6 (Anexo 7)		<i>Esto fue de la primera ley, la de inercia que estuvimos con el simulador probando. Entonces el auto iba rápido y se detenía, pero no así en el instante, sino que poco a poco por la fuerza fricción, y eso significaba la flecha, en esa dirección (señala a la izquierda) porque es la contraria a donde se mueve.</i>
E4	Situación 1 (Anexo 7)		<i>Es como lo que vimos en una de las clases, el ejemplo del bus o del metro, en este caso uno va dentro del bus y va a la misma velocidad, que sería el primer dibujo, pero ya luego el bus frena así rápido, pero uno sale como empujado hacia delante, por lo que vimos de la inercia y está ahí la flecha debajo de la persona en el bus.</i>
E3	Situación 4 (Anexo 7)		<i>Vimos una situación del carrito de compras, uno si estaba lleno de comida y otro así vacío, entonces si uno les aplica la misma fuerza para moverlo, tiene más aceleración y llega más lejos el vacío por contar con menos masa. Por eso las flechas, esta (apunta a la del carrito con objetos) es más pequeña que la otra porque significa que hay menos aceleración para la misma fuerza en los dos.</i>
E8	Situación 7 (Anexo 6)		<i>Aquí las flechas es como el movimiento de las libretas, este de arriba tiene menos masa, si lo empujamos llega más lejos, tiene más aceleración, por eso la flecha es más larga que la de abajo, porque este (señala el objeto de 10 g) es más pesado.</i>

Participante	Producto de clase	Representación Gráfica	Comentario del participante
E3	Situación 7 (Anexo 6)	<p>-el que se mueva con mayor aceleración será la libreta por tener menos peso</p> 	<p>Yo acá hice estas flechas por lo que vimos de las fuerzas, masas y aceleración. Entonces teníamos una libreta pequeña y otra grande, le dabamos la misma fuerza pero como depende de la masa, entonces la pequeña tiene más aceleración, por eso son más grandes (las flechas) y ya al revés con el libro grande que era más pesado, menos aceleración.</p>
E7	Situación 4 (Anexo 6)		<p>Tenemos el carro y el balón, ambos se mueven y se necesita hacer fuerza para pararlos, entonces acá con el balón son flechas pequeñas, o sea, no tanta fuerza, pero ya con el carro como es tan pesado, se necesita más fuerza, por eso la flecha es más grande.</p>
E4	Situación 3 (Anexo 6)		<p>Las dos flechas que están arriba significan esas fuerzas que imponían cada sujeto, la de abajo es la fuerza total que ejercía el primer sujeto que es el de la mayor fuerza. La razón de que la flecha sea más grande es que este hace más fuerza que la otra persona. Luego, la flecha de abajo es como el resultado de las dos fuerzas, o sea, esta fuerza es mayor y esta otra menor, entonces al final habrá una fuerza para allá, aunque sea poca.</p>
E5	Dibujo digital de Nearpod		<p>Este es del experimento que hicimos con la pared, empujamos la pared entonces ahí hacemos la fuerza de acción, que sería esta flecha (señala la flecha con el nombre fuerza), al empujar la pared uno recibe la fuerza de reacción que lo empuja hacia atrás, esa sería la otra flecha.</p>

Participante	Producto de clase	Representación Gráfica	Comentario del participante
E2	Situación 3 (Anexo 3)		<p><i>Con esto quise dibujar lo de la acción y reacción, cada acción genera una reacción. En este ejemplo, la cosita del submarino (apunta a la hélice) hace la fuerza, la acción para esa dirección donde empuja el agua, luego el submarino la reacción es que se mueva en dirección contraria, debido a la fuerza de empuje que hace el agua.</i></p>

A partir de las representaciones de la **Tabla 18** se pueden identificar varias cosas. En relación con la primera ley, E1 representa la fuerza externa para modificar el estado de movimiento de un objeto mediante el uso de una flecha en dirección contraria al movimiento. Mientras que E4 alude a la idea teórica de mantener el estado de movimiento, es decir, la inercia, y la representa mediante una flecha en dirección al movimiento.

En lo correspondiente a la segunda ley, se encuentran tres ideas diferentes. Primera, E3 y E8 representan la aceleración de un cuerpo producida por una fuerza por medio de flechas en dirección al movimiento. Además, enuncian que hay diferencia de longitud en las flechas debido a la diferencia entre las aceleraciones que produce una misma fuerza para cuerpos de diferente masa, donde representan una relación directamente proporcional entre la longitud de la flecha y la cantidad de aceleración. Por lo tanto, se puede interpretar que las representaciones mediante flechas de E3 y E8 cuentan con sentido, dirección y magnitud, por lo que se podría enunciar que establecen un acercamiento a una representación vectorial. Sin embargo, lo que están representando no es una fuerza, sino una aceleración, por lo que hay diferencia teórica.

Segunda, el gráfico de E7 sí representa fuerzas e indica que, a mayor tamaño de la flecha, la fuerza también es más grande. Y tercera, respecto al producto de E4, quien declara que las flechas representan las fuerzas de los individuos de la situación y por tanto están en direcciones contrarias. Luego, la longitud de las flechas también indica la magnitud de las fuerzas, las cuales interactúan y ofrecen un resultado, que según el participante es otra flecha que actúa como la fuerza resultante de la interacción. Es decir, E4 realiza una suma de fuerzas de manera indirecta, por lo que el tamaño de la fuerza resultante es equiparable a restar la fuerza mayor de la menor. En este orden de ideas, se puede interpretar que como E4 realizan un acercamiento a representaciones de orden vectorial.

Por otra parte, y en relación con la tercera ley, tanto E2 como E5 representan las fuerzas de acción y reacción mediante flechas, las cuales se encuentran en sentidos opuestos, aunque no realizan comentarios acerca de la magnitud de estas fuerzas.

Debido a las interpretaciones anteriores y a los comentarios de los participantes, se puede declarar que a pesar de que utilizan la misma base representacional de la flecha, estas no significan lo mismo para todos ellos. Este factor funciona como un reflejo de la conjunción teórica establecida entre los principios de la TASC del aprendiz como perceptor representador y de la conciencia semántica, con los principios fundamentales del DUA de múltiples formas de representación y múltiples formas de expresión y acción.

A modo de cierre, se puede interpretar que, a partir de los resultados descritos en cada una de las categorías y subcategorías de análisis, se considera que la propuesta didáctica apoyada en simulaciones computacionales logró favorecer a las representaciones que los participantes construyeron sobre las Leyes de Newton. De igual manera, emplear la diversificación de estrategias y materiales de enseñanza a través de la conjunción de la TASC y el DUA permitió dar respuesta a la problemática y pregunta planteada al inicio de esta investigación.

7 Conclusiones

La conjunción entre los principios de la TASC y el DUA funcionó para consolidar el diseño de una propuesta didáctica diversificada para el aprendizaje de las Leyes de Newton que tuviera en cuenta la variedad de estudiantes, y sus diversas formas de aprender. A partir de la observación del investigador y de los comentarios de los participantes, se puede enunciar que la diversidad de estrategias y materiales de enseñanza abordadas favorecieron la disposición para el aprendizaje por parte de los participantes del estudio. Asimismo, se generaron espacios de enseñanza que tuvieran en cuenta las diversas maneras que tienen los estudiantes de aprender, a partir de las simulaciones computacionales, el uso de vídeos, plataformas interactivas, y prácticas experimentales.

En relación con el aporte que tuvo el uso de diversas estrategias y materiales de enseñanza para la construcción de representaciones sobre las Leyes de Newton, específicamente acerca de las simulaciones computacionales, otros medios digitales y las prácticas experimentales, se evidenció que los simuladores aportaron en la medida que ofrecieron a los participantes la posibilidad de interactuar experimentalmente con situaciones físicas relacionadas con las tres leyes, y mediante esta interacción, lograron establecer relaciones de causalidad y de proporcionalidad entre los conceptos relacionados con las leyes.

Respecto a los medios digitales, se declara que funcionaron como elementos organizadores y sintetizadores de las representaciones que los estudiantes construían sobre las Leyes de Newton, ya que ampliaron el lenguaje relacionado con estas y se lo presentaron a los estudiantes de manera práctica y sencilla. Asimismo, los medios audiovisuales favorecieron a las percepciones de los participantes en tanto establecen relaciones con situaciones u objetos de la vida cotidiana.

Y en lo que corresponde a las prácticas experimentales, se concluye que esta estrategia favoreció a la construcción de conocimiento por parte de los participantes, ya que declaran que pueden sentir el aprendizaje de manera autónoma, en tanto son ellos quienes realizan el experimento, observan los resultados de sus acciones y analizan, para luego experimentar de nuevo. De esta manera, obtienen un rol activo durante el aprendizaje y no se limitan a ser observadores o receptores de las acciones y discurso del docente.

Referente a las representaciones que los estudiantes construyeron sobre las Leyes de Newton a partir de la propuesta didáctica se concluye que existió un contraste entre las representaciones construidas por los participantes antes y después de la intervención didáctica.

Luego de la propuesta, las representaciones tanto lingüísticas como gráficas se caracterizaron por manifestar el lenguaje relacionado con las leyes, lo que refleja que las representaciones de los estudiantes se complejizaron. Este factor es una demostración del principio de la TASC del conocimiento como lenguaje, y, por tanto, evidencia que los participantes construyeron nuevos conocimientos.

Además de lo anterior, y de manera particular, las representaciones lingüísticas de los participantes se modificaron y luego de la propuesta didáctica estaban caracterizadas por una estructuración lógica donde se establecen relaciones de implicación entre dos situaciones, por ejemplo, aquellas referentes a las relaciones de proporcionalidad existentes entre la aceleración, fuerza y masa presentes en una situación física de movimiento. Por otra parte, respecto a las representaciones gráficas, diversos participantes se acercaron a representaciones de carácter vectorial, como la ilustración de fuerzas a partir de flechas que se caracterizaron por tener sentido, dirección y magnitud, esta última a partir de su tamaño.

Luego, en orden de responder a la pregunta de investigación planteada al comienzo de este trabajo, se concluye que la propuesta didáctica fundamentada en la TASC y el DUA apoyada por las simulaciones computacionales favoreció a la construcción de representaciones de las Leyes de Newton a partir de la diversificación de las estrategias y materiales de enseñanza. En particular, dicha diversidad presentó múltiples escenarios donde los participantes interactuaron con situaciones físicas relacionadas con las leyes, con el fin de generar un acercamiento a las diversas formas de percibir la información que tienen estos, las cuales implican diferentes formas de aprender.

A modo de cierre, se concluye acerca de la importancia de este ejercicio investigativo y su aporte para la formación docente. El investigador a cargo de este trabajo establece que su importancia radica en el aporte que se realiza hacia al campo educativo respecto a la nueva relación que se establece entre la TASC y el DUA, y cómo el eje de la diversificación tiene el potencial de favorecer los procesos de enseñanza y aprendizaje, en este caso de las Leyes de Newton, pero que puede ampliarse hacia diversos objetos de conocimiento de las matemáticas o la física.

De manera adicional, este trabajo también da cuenta de cómo aprovechar las potencialidades de las TIC posibilita facilitar un vínculo efectivo entre el estudiante y el conocimiento. En particular, a partir de materiales interactivos y audiovisuales como las

simulaciones computacionales y los vídeos respectivamente, es posible acercarse a las diferentes formas de aprender que tienen los estudiantes y favorecer su disposición para el aprendizaje.

Por otro lado, el proceso investigativo relacionado con este trabajo aporta a la formación como docente del autor en varios aspectos. Primero, favorecer la habilidad para identificar problemáticas relacionadas con el contexto educativo o con las características particulares de los estudiantes. Segundo, obtener experiencia real acerca de los problemas y dificultades que implica ser docente, así como lo que conlleva establecer un vínculo profesional con los estudiantes. Tercero, desarrollar habilidades relacionadas con ser un docente investigador: búsqueda de información con el fin de establecer un estado del arte acerca de una problemática educativa; establecimiento de elementos teóricos y metodológicos afines a la resolución de la problemática identificada; capacidad de análisis de información recolectada con el fin de aportar al campo investigativo a partir de conclusiones y nuevas preguntas.

8 Recomendaciones

Luego de realizar el proceso de intervención didáctica en la Institución Educativa Alfredo Cock Arango el investigador del presente trabajo es consciente de aspectos que podrían haber sido mejores, por lo que surgen las siguientes recomendaciones para posteriores trabajos similares. Primera, vincular con mayor frecuencia elementos del contexto cercano de los participantes al proceso pedagógico realizado por el investigador, con el fin de entrelazar con más efectividad las experiencias y percepciones previas de los estudiantes con la construcción de nuevo conocimiento. Segunda, acercarse reiteradas veces a los participantes para profundizar acerca de sus percepciones o comentarios, mediante esta acción se puede profundizar sobre las interpretaciones que ellos manifiestan, información que puede ser importante para realizar adecuaciones a la propuesta didáctica o para el análisis de la información. Tercera, generar mayor conexión entre las actividades de dos sesiones consecutivas, lo anterior para favorecer en los participantes la habilidad de establecer relaciones entre diversos factores que hacen parte del mismo objeto de conocimiento.

Finalmente, se proponen algunas preguntas que pueden dar origen a nuevas investigaciones. ¿Qué características epistemológicas debe tener un objeto de conocimiento para que sea posible favorecer sus procesos de enseñanza y aprendizaje a través de la relación conjunto entre los principios de la TASC y los principios fundamentales del DUA? ¿De qué manera las TIC pueden contribuir a la construcción de representaciones sobre los objetos de conocimiento en contextos educativos que no pueden acceder a material digital? ¿Cómo la diversificación de los procesos de enseñanza y aprendizaje puede favorecer de manera particular y significativa a las habilidades de los estudiantes de representar lingüística y gráficamente el conocimiento? ¿De qué manera las representaciones “kinestésicas” que manifiestan los estudiantes están relacionadas con los procesos de construcción de conocimiento particulares de cada uno de ellos?

Referencias

- Angulo, M. L., & Arteaga, E. (2018). Las representaciones mentales en la aprehensión de conceptos matemáticos: formación del concepto de fracción. *Revista Conrado*, 14(63), 147-154. Recuperado a partir de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442018000300147&lng=es&tlng=es
- Barragán, F. (2020). Simulaciones interactivas: nuevas herramientas en el aprendizaje contextualizado de la Física universitaria. *Revista Ciencias de la Educación*, 30(56), 541-568. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7861029>
- Barrón, A. R., & Ramírez, M. H. (2021). Diseño universal de aprendizaje en la enseñanza de la Física. *Información tecnológica*, 32(6), 73-84. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000600073>
- Baudino, N., Ferrufino, L., & Ocelli, M. (2022). Trackeando la trayectoria: una propuesta didáctica basada en TIC para enseñar representaciones de movimiento. *Revista De Enseñanza De La Física*, 34, 41-46. Recuperado a partir de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/39732>
- Bautista, N. P. (2011). *Proceso de la Investigación Cualitativa: epistemología, metodología y aplicaciones*. Colombia: Editorial Manual Moderno.
- Benítez, A. A., & Zepeda, M. E. (2018). El uso de representaciones mentales en la resolución de problemas en matemáticas. El caso de Nivel Medio Superior. *Eco Matemático*, 9(1), 65-76. <https://doi.org/10.22463/17948231.1727>
- Bentivenga, M., Giorgini, D., & Bombelli, E. (2018). *Uso de simuladores como recurso educativo para facilitar la enseñanza y aprendizaje de las leyes de Newton. Análisis descriptivo preliminar* [Conference Paper]. VI Jornadas Nacionales. IV Jornadas Latinoamericanas de Investigadores/as en Formación en Educación. Buenos Aires, Argentina.
- Bustamante, E. A. (2012). *Diseño e implementación de una estrategia didáctica para la enseñanza y el aprendizaje de las Leyes de Newton en el grado décimo utilizando las nuevas tecnologías TIC: Estudio de caso en el grado 10° de la Institución Educativa Julio Cesar García del municipio de Medellín* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Digital UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11879>
- Castellón, E., Marín, D., Aguas, R., & Arrieta, M. (Noviembre, 2019). *Uso de la animación 3D en la enseñanza de la aplicación de la segunda ley de Newton al movimiento circular uniforme*

[Conference Paper]. X Congreso Internacional sobre Aplicación de Tecnologías de la Información y Comunicaciones Avanzadas, Córdoba, Argentina.

- Castrillón, A., Mejía, S., González, A. C., & Rendon, P. A. (2020). *La modelación y la experimentación en el estudio de un fenómeno físico. Experiencias y reflexiones en educación media*. En Gaita, Cecilia; Flores, Jesús; Ugarte, Francisco (Eds.), X Congreso Internacional sobre Enseñanza de las Matemáticas (pp. 704-713). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Cisterna, F. (2005). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *Theoria*, 14(1), 61-71.
- De la Fuente, A., & Deulofeu, J. D. (2022). Uso de las conexiones entre representaciones por parte del profesor en la construcción del lenguaje algebraico. *Bolema: Mathematics Education Bulletin*, 36, 389-410. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v36n72a17>
- Díaz, J. P., Ruiz, A. K., & Egüez, C. (2021). Impacto de las TIC: desafíos y oportunidades de la Educación Superior frente al COVID-19. *Revista Científica UISRAEL*, 8(2), 113-134. <https://doi.org/10.35290/rcui.v8n2.2021.448>
- Eysenck, M. W., & Keane, M. T. (2005). *Cognitive psychology: a student's handbook*. (4^a ed). Editorial Psychology Press.
- Flores, F., Gallegos, L., & Lima, C. (2020). Representaciones en Física: construcción y validación de un cuestionario para la Enseñanza Media Superior. *Revista electrónica de investigación educativa*, 22(14), 1-17. <https://doi.org/10.24320/redie.2020.22.e14.1728>
- Gamboa, R. (2007). Uso de la tecnología en la enseñanza de las matemáticas. *Cuadernos de investigación y formación en educación matemática*, 3(1), 11-44.
- Granda, L Y., Espinoza, E. E., & Mayon, S. E. (2019). Las TIC como herramientas didácticas del proceso de enseñanza-aprendizaje. *Revista Conrado*, 15(66), 104-110. Recuperado de <http://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado>
- Grisales, A. M. (2018). Uso de recursos TIC en la enseñanza de las matemáticas: retos y perspectivas. *Entramado*, 14(2), 198-214. <http://dx.doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.4751>
- Guisasola, J., Zuza, K., & Sagastibeltza, M. (2019). Una propuesta de diseño y evaluación de secuencias de enseñanza-aprendizaje en Física: el caso de las leyes de Newton. *Revista De Enseñanza De La Física*, 31(2), 57–69. Recuperado a partir de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/26948>

- Gutiérrez, X. D., Barría, C. M., & Tapia, C. P. (2020). Diseño universal para el aprendizaje de las matemáticas en la formación inicial del profesorado. *Información tecnológica*, 13(6), 129-142. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062020000600129>
- Henao, C. C., Muñoz, J. H., & Muñoz, O. (2021). Uso del GeoGebra, el simulador PhET y el Tracker como herramientas didácticas para enseñar cinemática a estudiantes sordos. *Bio-grafía*. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/14831>
- Hernandez, S. F., Herrera, F. B., & Bermejo, M. (Noviembre, 2021). *Actividades didácticas de modelación matemática con Scratch y Arduino en educación secundaria* [Ponencia]. XVI Congreso Nacional de Investigación Educativa, Puebla, México.
- Herrera, N. L., Montenegro, W., & Poveda, S. (2012). Revisión teórica sobre la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (35), 254-287.
- Hoyos, C. (2000). Un modelo para investigación documental: guía teórico-práctica sobre construcción de Estados del Arte con importantes reflexiones sobre la investigación. Señal editora.
- ICFES (2021). Informe nacional de resultados del examen Saber 11° 2020 (Vol. I). Obtenido de <https://www.icfes.gov.co/documents/39286/2656516/1-Informe+nacional+de+resultados+Saber-11-2020.pdf/c09fc81d-7b1c-7703-7cff-0f34da104634?version=1.0&t=1650317523328>
- Imbert, F. E. (2022). Efecto de las simulaciones de fuerza y movimiento en el aprendizaje de la Física Básica. *Latin-American Journal of Physics Education*, 16(1). Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8444864>
- Institución Educativa Alfredo Cock Arango. (s.f.). Recuperado a partir de <https://www.ieaca.edu.co/index2.php?id=146464&idmenutipo=6704>
- Iriarte, A. J., Ortega, Y. D., & Estrada, L. P. (2022). Estrategias didácticas basadas en laboratorios virtuales y presenciales en el aprendizaje de las leyes de Newton. *Assensus*, 7(12), 94-112. <https://doi.org/10.21897/assensus.2944>
- Jaramillo, J., Rincón, O. L., & Rincón, J. F. (2021). Uso de las TIC para la enseñanza de las leyes de Newton en estudiantes universitarios. *Mundo FESC*, 11(4), 30-38. Recuperado a partir de <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/931>
- Lagos, O. M. (2019). Diseño universal para el aprendizaje: una experiencia innovadora en el aula matemática de octavo año básico. *Revista de estudios y experiencias en educación*, 18(36), 257-267. <https://dx.doi.org/10.21703/rexe.20191836lagos3>

- Ley 115 de febrero 8 de 1994. Por la cual se expide la Ley General de Educación. Congreso de Colombia.
- Ministerio de Educación Nacional (1998a). Lineamientos Curriculares Matemáticas.
- Ministerio de Educación Nacional (1998b). Lineamientos Curriculares Ciencias Naturales y Educación Ambiental.
- Moreira, M. A. (1999). Investigación en Enseñanza: Aspectos Metodológicos. Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos, España; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Texto de Apoyo N° 1, 1999. Adaptado del capítulo 2 del libro Pesquisa em ensino: o Vê epistemológico de Gowin, de M.A. Moreira. São Paulo, Editora Pedagógica e Universitária Ltda., 1990. Traducción de M^a Luz Rodríguez Palmero. Publicado em Actas del PIDEDEC, 5, pp.101-136.
- Moreira, M. A. (2005). Aprendizaje significativo crítico. *Indivisa: Boletín de estudios e investigación*, (6), 83-101. <https://doi.org/10.37382/indivisa.vi6.379>
- Moreira, M. A. (2010). Aprendizaje significativo crítico. 2da. Edición. Traducción de Ileana Greca y María Luz Rodríguez Palmero. 1-24.
- Moreno, J. A. y Martínez, N. Y. (2017). Enseñanza de las leyes de Newton en grado décimo bajo la Metodología de Aprendizaje Activo. *Amazônia*, 13(26), 82-101. <http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v13i26.4341>
- Mosquera, E., & Londoño, G. (2021). Construcciones semióticas colectivas en el aula para el aprendizaje de la física: Un acercamiento cuantitativo. *Revista De Enseñanza De La Física*, 33(2), 387–396. <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v33.n2.35286>
- Muñoz, L. E., & Guaila, J. F. (2023). *El simulador PhET en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la segunda ley de Newton* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio Digital Universidad Nacional de Chimborazo. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10395>
- Occelli, M., & Valeiras, N. (2019). Modelizar, pensar y representar ciencias naturales con TIC. En M. Quintanilla & M. Vauras (Eds.), *Inclusión Digital y Enseñanza de las Ciencias, Aprendizaje de competencias del futuro para promover el desarrollo del Pensamiento Científico* (pp. 105-123). Bellaterra.
- Olave, V. R., Hoyos, O. F., Medina, S. C., Vivas, S. J., & Volverás, A. F. (2019). Aprendizaje de las Leyes de Newton en la Educación Superior a través de la gamificación. *Ingeniería E Innovación*, 7(1), 19-22. <https://doi.org/10.21897/23460466.1710>

- Ordoñez, J. C., Coraisaca, E. C., & Espinoza, E. E. (2020). ¿Se emplean recursos didácticos en la enseñanza de matemáticas en la educación básica elemental? Un estudio de caso. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(3), 48-55.
- Ortiz, E., Vergel, M., & Villamizar, F. (2020). Experiencia didáctica para la introducción de la función cuadrática en nivel secundaria a partir de la modelización de un fenómeno físico con las tecnologías digitales. *El Cálculo y su Enseñanza*, 15, 21-33. Recuperado a partir de <https://recacym.org/index.php/recacym/article/view/58>
- Pastor, C. A., Sánchez, J. M., & Zubillaga, A. (2014). Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA). Recuperado de http://www.educadua.es/doc/dua/dua_pautas_intro_cv.pdf
- Pinos, P. C., García, D. G., Erazo, J. C., & Narváez, C. I. (2020). Las TIC como mediadoras en el proceso enseñanza – aprendizaje durante la pandemia del COVID-19. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 5(1), 121–142. <https://doi.org/10.35381/r.k.v5i1.772>
- Porras, K. (Mayo, 2019). *Representaciones matemáticas y la invención de problemas desde la modelización* [Ponencia]. XV Conferencia Interamericana de Educación Matemática, Medellín, Colombia.
- Ramírez, P., Maldonado, E. A., & Avendaño, W. R. (2021). Las nuevas tecnologías en la enseñanza de la ciencia. *Revista Boletín Redipe*, 10(13), 603-609.
- Ré, M. A., Arena, L. E., & Giubergia, M. F. (2012). Incorporación de TICs a la enseñanza de la Física. *Revista TE & ET*, 8, 16-22. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/25525>
- Rodríguez, C., Lorenzo, O., & Herrera, L. (2005). Teoría y práctica del análisis de datos cualitativos. Proceso general y criterios de calidad. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM*, 15(2), 133-154.
- Rodríguez, D. J., & Roldán, J. (2022). Estrategias para la implementación del DUA en matemáticas: El caso de un curso online de olimpiadas matemáticas. *HUMAN REVIEW. International Humanities Review / Revista Internacional De Humanidades*, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.37467/revhuman.v11.3916>
- Salinas, O. C. (2019). Integración de la metodología y la didáctica de la enseñanza y el aprendizaje de la física, usando simulaciones computacionales, durante la práctica profesional de estudiantes de pedagogía en física. *Brazilian Journal of Development*, 5(3), 2261–2274. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n3-1259>

- Sánchez, F., & Esnaola, G. A. (2014). Los videojuegos en la educación. *Aularia: Revista Digital de Comunicación*, 3(1), 21-26. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4713248>.
- Sandoval, C. A. (1996). *Investigación Cualitativa*. Colombia: Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior, ICFES.
- Sandoval, O. L. (2021). *Enseñanza de las Leyes de Newton: una propuesta didáctica mediada por herramientas TICS en la sede Pablo Vi del Colegio Jaime Garzón de la ciudad de Cúcuta* [Tesis de maestría, Universidad Simón Bolívar]. Repositorio Digital Universidad Simón Bolívar. <https://hdl.handle.net/20.500.12442/9014>
- Sanhueza, H. S., Bravo, E. A., Faúndez, A. C. & Utreras, C. E. (2018). Las TIC como herramientas cognitivas de inclusión en clases de física para estudiantes de enseñanza secundaria. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 13(2), 306-324. <http://doi.org/10.14483/23464712.12585>
- Sanmartí, N., Cañal, P., Aleixandre, M. P., Couso, D., Pintó, R., Ametller, J., Caamaño, A., Gallástegui, J. M., Rosária, J., & De Pro, A. (2011). *Didáctica de la Física y la Química* (5ª ed., Vol. 2). Editorial GRAÓ.
- Stake, R. (2010). *Investigación con estudio de casos*. (5ª ed.). Madrid: Ediciones Morata, S.L.
- Taipe, C., Yancachajlla, U., & Flores, H. (2020). Aprendizaje de la dinámica de una partícula a través del software Interactive Physics en estudiantes de ingeniería. *Revista Innova Educación*, 2(2), 330–346. <https://doi.org/10.35622/j.rie.2020.02.007>
- Tamayo, O. E. (2006). Representaciones semióticas y evolución conceptual de la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. *Revista Educación y Pedagogía*, 18(45), 37-49.
- Téllez, F. R., & Pineda, E. (2019). Club de matemáticas para la resolución de problemas usando representaciones múltiples. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (58), 162-179. <https://doi.org/10.35575/rvucn.n58a9>
- Valero, N. & González, J. L. (2020). Análisis comparativo entre la enseñanza tradicional matemática y el método ABN en Educación Infantil. *Edma 0-6: Educación Matemática en la Infancia*, 9(1), 40-61. <https://doi.org/10.24197/edmain.1.2020.40-61>
- Vargas, J. P. (2020). *Utilización de simulador PhET para el aprendizaje de las leyes de Newton* [Trabajo de grado, Universidad Central de Ecuador]. Repositorio Digital Universidad Central de Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21810>

- Vásquez, V. M. (2017). *Efectividad del uso de las TIC en la enseñanza-aprendizaje de la primera y segunda Ley de Newton* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Digital Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63012>
- Velasco, J. J. & Buteler, L. M. (2017). Simulaciones computacionales en la enseñanza de la física: una revisión crítica de los últimos años. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 161-178. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2117>
- Velásquez, S. J. (2014). Red de experiencias matemáticas de Norte de Santander, un aporte a la formación de ciudadanos competentes en matemáticas. *Eco Matemático*, 5(1), 96-101. <https://doi.org/10.22463/17948231.56>
- Villamizar, F. Y. (2020). GeoGebra como herramienta mediadora de un fenómeno físico. *Revista do Instituto GeoGebra de São Paulo*, 9(1), 76-89. <https://doi.org/10.23925/2237-9657.2020.v9i1p76-89>
- Zamora, R., Vélez, J., Paez, H., Martínez, O., Cano, C., & Coba, J. (2017). Implementación de un recurso educativo abierto a través del modelo del diseño universal para el aprendizaje teniendo en cuenta evaluación de competencias y las necesidades individuales de los estudiantes. *Espacios*. 38(05), 3-12. <http://hdl.handle.net/11323/2218>

Anexos

Anexo 1.

Consentimiento informado para participantes en la investigación “Acercamiento a las representaciones de las Leyes de Newton: una propuesta didáctica basada en los principios de la TASC y el DUA apoyada por las simulaciones computacionales”

La presente investigación es conducida por Juan David Herrera Osorio como trabajo de pregrado en la Universidad de Antioquia. La meta de este estudio es “Analizar las representaciones que construyen los estudiantes sobre las Leyes de Newton a partir de una propuesta didáctica fundamentada en la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico y el Diseño Universal para el Aprendizaje apoyada por simulaciones computacionales.”

Durante el desarrollo de las actividades se requieren procedimientos propios de la metodología de investigación cualitativa, tales como la observación participante, el registro fotográfico y audiovisual y la participación en actividades propuestas para la intervención. Se espera que los participantes se comprometan voluntariamente a aportar información verídica y pertinente para el desarrollo de la investigación. La persona que firma este documento autoriza a los investigadores para que las fuentes de información como escritos, entrevistas, observaciones, fotos, grabaciones en audio y video, etc, se constituyan en datos para dicha investigación, y puedan ser publicados en el informe final de investigación, así como en cualquier otro medio de divulgación como eventos académicos, publicación en revistas, entre otros.

La participación en este estudio es voluntaria. La información que se recoja será confidencial y no se usará para ningún otro propósito fuera de los de esta investigación. Sus respuestas a los cuestionarios y a la entrevista serán codificadas y, por lo tanto, serán anónimas. Además, como parte del proceso, se presentará a los participantes los resultados del estudio.

Si tiene alguna duda sobre este proyecto, puede hacer preguntas en cualquier momento durante su participación. Igualmente, puede retirarse del proyecto en cualquier momento sin que eso lo perjudique en ninguna forma.

Después de haber leído y comprendido completamente la información suministrada en este documento, y de que los investigadores han resuelto mis inquietudes, voluntariamente doy mi consentimiento para participar de forma libre y autónoma en la investigación.

Nombre del Participante

Firma del Participante

Fecha

Nombre del Acudiente

Firma del Acudiente

Fecha

Nombre del Investigador

Firma del Investigador

Fecha

Anexo 2.

Cuestionario Inicial

Elaborado por:

Juan David Herrera Osorio

Licenciatura en Matemáticas y Licenciatura en Física

Universidad de Antioquia

Centro de Práctica: Institución Educativa Alfredo Cock Arango

2023

Nombre: _____

Lea detenidamente las siguientes preguntas y responda teniendo en cuenta sus conocimientos o creencias.

Nota: Puedes realizar un pequeño dibujo por cada situación para responder mejor.

1) Imagina que estás montando en bicicleta y estás pedaleando, pero llega un momento en el que dejas de pedalear, ¿qué crees que sucede a continuación? ¿La bicicleta se detiene instantáneamente o sigue moviéndose pero se detiene momentos después? ¿Por qué crees eso?

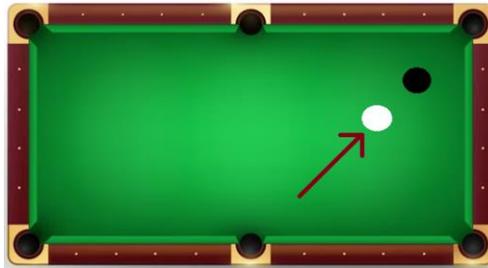
2) Los seres humanos y muchos animales podemos saltar. Saltar hacia arriba, atrás o quizá hacia al frente. ¿Por qué crees que podemos saltar? ¿Cómo crees que se produce el salto de una persona?

3) En nuestro día a día solemos cargar cosas o moverlas de un lugar a otro, por ejemplo, cargamos con una mochila para almacenar objetos en ella. ¿Consideras que hay objetos que son más fáciles de cargar o de mover de un lugar a otro? ¿Por qué? Explica tu respuesta.

4) Entre un auto que va muy despacio y una pelota de fútbol que va muy rápido, ¿cuál crees que si te golpea te haría más daño? ¿Por qué?

5) Los cohetes suelen iniciar el despegue e instantes después estos empiezan a ascender hacia los cielos. ¿Cómo crees que funciona un cohete y qué genera su movimiento para poder ascender?

6) Piensa en la siguiente situación. Estás jugando billar y vas a golpear la bola blanca para que impacte a la bola negra y esta caiga en uno de los agujeros de la mesa. Supongamos que golpeas la bola blanca y logras darle a la bola negra.



¿Qué sucede justo después del impacto entre ambas?

- La bola blanca y la bola negra se mueven en la misma dirección y con la misma velocidad.
- La bola blanca y la bola negra se mueven en la misma dirección pero con velocidades diferentes.
- La bola blanca se empieza a detener y la bola negra se mueve en la misma dirección a la que golpeaste la bola blanca.
- Ninguna de las dos bolas se mueve después del impacto entre ellas.
- Otra:

Para cualquier respuesta que hayas seleccionado justifica tu elección:

Anexo 3.**Tercera Ley de Newton - Situaciones**

Situación 1: ¿Cómo crees que funcionan los trampolines? ¿Por qué crees que puedes rebotar al saltar en un trampolín?



Situación 2: ¿Cómo crees que funcionan las lanchas? ¿Por qué crees que son capaces de impulsarse hacia delante por encima del agua? ¿Qué piensas que es aquello que hace que se muevan?



Situación 3: ¿Cómo crees que funcionan los submarinos? ¿Por qué crees que son capaces de impulsarse hacia al frente por el agua? ¿Qué piensas que es aquello que hace que se muevan?



Situación 4: Imagina que estás en una barca pequeña con un remo. ¿Por qué crees que al remar hacia atrás la barca va hacia delante?



Situación 5: Imagina que estás sosteniendo un globo, el cual está lleno de aire, al soltarlo y dejar que salga el aire, el globo sale disparado hacia al frente. ¿Por qué crees que sucede esto? ¿Qué hace que el globo se impulse hacia el frente?



Situación 6: Hay diferentes maneras de nadar, una de ellas consiste en surcar el agua moviendo los brazos hacia atrás. ¿Cómo crees que esto es posible? ¿Por qué crees que al mover los brazos hacia atrás nos movemos hacia delante por el agua al nadar?



Situación 7: Piensa en el funcionamiento de un avión, las turbinas del avión ejercen una fuerza hacia atrás, pero el avión se dirige hacia al frente. ¿Por qué crees que sucede esto?



Anexo 4.

Tercera Ley de Newton - Simulaciones de Videojuegos

Elaborado por:

Juan David Herrera Osorio

Licenciatura en Matemáticas y Licenciatura en Física

Universidad de Antioquia

Centro de Práctica: Institución Educativa Alfredo Cock Arango

2023

Nombres: _____

En esta ocasión vamos a usar diversos videojuegos que se encuentran en línea. Junto a tu compañero ingresa a cada uno de ellos, juega un poco y responde la pregunta asignada

Uno puede usar el computador mientras que la otra persona puede escribir las ideas.

1) Billar - <https://www.1001juegos.com/juego/8-ball-billiards-classic>

Pregunta: ¿Por qué crees que al golpear una bola de billar con otra la primera tiende a detenerse y la segunda sale disparada?

2) Tiro con arco - <https://www.1001juegos.com/juego/archery-master>

Pregunta: ¿Qué notas en cada lanzamiento de flecha de arco? ¿Por qué crees que el arquero primero debe arrastrar la flecha hacia atrás?

Anexo 5.**Segunda Ley de Newton****Elaborado por:**

Juan David Herrera Osorio

Licenciatura en Matemáticas y Licenciatura en Física

Universidad de Antioquia

Centro de Práctica: Institución Educativa Alfredo Cock Arango

2023

Nombres: _____**Simulación - Cloud Labs**

Interactúa un poco con las herramientas del simulador. Puedes arrastrar con el click las diferentes masas y colocarlas sobre el automóvil de la derecha o el portapesas de la izquierda. Después de que las coloques, puedes accionar el simulador dando click en el objeto azul a la derecha del automóvil.

Realiza los siguientes experimentos y registra los resultados que obtienes para cada uno.

Masa Auto (400 g)	Masa Portapesas (50 g)	Peso del automóvil	Peso del contrapeso	Fuerza de tensión	Velocidad final automóvil	Tiempo de movimiento	Aceleración del automóvil
0 g	25 g						
0 g	50 g						
0 g	100 g						
0 g	300 g						
25 g	0 g						
50 g	0 g						
100 g	0 g						

300 g	0 g						
50 g	50 g						
100 g	100 g						
200 g	200 g						

Luego de haber realizado los experimentos, responde las siguientes preguntas.

- 1) ¿Consideras que hay una relación entre las masas colocadas en alguno de los dos lugares y el movimiento del automóvil luego de activar la simulación? Explica tu respuesta.
- 2) ¿En qué situaciones la velocidad final del automóvil tiene los mayores valores? ¿Por qué crees que sucede en esas situaciones?
- 3) ¿En qué situaciones el tiempo de movimiento tiene los mayores valores? ¿Por qué crees que sucede en esas situaciones?
- 4) Intenta conseguir que la aceleración del automóvil sea el mayor valor posible, ¿qué tuviste que hacer para conseguirla? ¿Qué masa utilizaste y dónde la colocaste?
- 5) ¿Qué puedes concluir de los experimentos?

Anexo 6.**Segunda Ley de Newton - Situación Problema****Elaborado por:**

Juan David Herrera Osorio

Licenciatura en Matemáticas y Licenciatura en Física

Universidad de Antioquia

Centro de Práctica: Institución Educativa Alfredo Cock Arango

2023

Nombres: _____

Situación 1: Imagina que alguien te va a lanzar un balón de fútbol dos veces, la diferencia está en la aceleración con la que es lanzada. En primer lugar, te lanzan el balón con una aceleración baja y en segundo lugar con una aceleración alta.

- 1) ¿En cuál de los dos lanzamientos crees que el balón te daría un mayor golpe? ¿Por qué?
- 2) Si el experimento se repite, pero ahora con una pelota de tenis y un balón de fútbol, y ambos te los lanzan con la misma aceleración. ¿Cuál te daría un mayor golpe? ¿Por qué?

Situación 2: Imagina que estás trabajando en una construcción y necesitas tumbar un muro. Tienes disponible un martillo estándar y otro martillo que es más grande que el primero y cuenta con mayor masa ¿Con cuál martillo crees que puedes tumbar el muro con mayor facilidad? Explica tu respuesta.

Situación 3: Imagina que hay dos personas empujando una mesa, pero las personas están en posiciones opuestas. La persona A está en el lado izquierdo, mientras que la persona B está en el derecho. Ambos están empujando la mesa hacia al frente de ellos, es decir, están empujando en direcciones opuestas.

¿A dónde crees que se moverá la mesa? ¿De qué depende la dirección del movimiento de la mesa? Justifica tu respuesta.

Situación 4: Considera dos situaciones diferentes. La primera, un carro está en movimiento y se dirige hacia ti con aceleración baja. La segunda, un balón de fútbol está en movimiento y se dirige hacia ti con la misma aceleración que el carro. En ambas situaciones intentas detener el carro o el balón con tus manos.

- 1) ¿Cuál de los dos objetos es más fácil de parar? ¿Por qué?
- 2) ¿En qué situación se debe necesitar de una fuerza mayor para detener el objeto en movimiento? ¿Por qué?

Situación 5: Imagina que tienes que llevar una caja de un lugar a otro, pero no sabes lo que hay dentro.

- 1) ¿Crees que puedes trasladar la caja al lugar que necesitas sin importar lo que tenga dentro? ¿Por qué?
- 2) ¿En qué situaciones podrías cargar con la caja y en qué situaciones no podrías cargar con la caja? ¿De qué depende?

Situación 6: Imagina que te chocas contra una pared dos veces, la diferencia entre ambas es la aceleración con la que te chocaste. En una situación te chocas mientras ibas caminando, y en la otra te chocas mientras estabas corriendo. ¿En cuál de las dos situaciones te golpeas con mayor fuerza? ¿Por qué?

Situación 7: Imagina que vas a empujar dos objetos diferentes sobre una mesa, un libro grande y una pequeña libreta, los empujas pero no al mismo tiempo. En ambas situaciones usas la misma fuerza para empujar, ¿cuál de los dos objetos se moverá con mayor aceleración después de que lo empujes? ¿por qué?

Preguntas extra:

- ¿Qué te pareció la sesión de clase? Destaca algo positivo y algo negativo, en caso de que haya.
- ¿Crees que la simulación de Cloud Labs te permitió comprender mejor la Segunda Ley de Newton? ¿Por qué?

- ¿Los vídeos y el experimento te ayudaron para entender mejor la Segunda Ley de Newton? ¿De qué manera?

Anexo 7.**Primera Ley de Newton - Situación Problema****Elaborado por:**

Juan David Herrera Osorio

Licenciatura en Matemáticas y Licenciatura en Física

Universidad de Antioquia

Centro de Práctica: Institución Educativa Alfredo Cock Arango

2023

Nombres: _____

Situación 1: Imagina que vas en un bus, te encuentras de pie porque no hay asientos disponibles y no te estás sosteniendo. El bus se mueve con una alta velocidad, pero el conductor utiliza el freno de emergencia para evitar chocar contra otro auto que se cruzó por el camino, entonces el bus se detiene casi instantáneamente.

- 1) ¿Crees que este suceso afecta de alguna manera a tu posición? ¿Qué crees que pasa? Explica tu respuesta.
- 2) Si el bus está en la misma situación, pero en vez de ir con alta velocidad tiene una velocidad muy baja y frena, ¿cómo crees que esto influye en lo que te pasa a ti?

Situación 2: Imagina una mesa con un mantel delgado que la cubre, encima del mantel hay diversos objetos, como platos pequeños o botellas. Una persona se acerca a la mesa, y lo que hace es jalar el mantel rápidamente. Lo que sucede es que el mantel es retirado, pero los platos y botellas se quedaron en la mesa, se movieron muy poco. ¿Consideras que esto es posible? ¿Por qué?

Situación 3: Imagina que tienes un ventilador, lo estás usando porque hace mucho calor y quieres un poco de aire fresco. Al finalizar, apagas el ventilador y notas que las aspas que tiene siguen girando por unos momentos, en vez de detenerse instantáneamente después de haber apagado el ventilador. ¿Por qué crees que sucede esto?

Situación 4: Imagina que estás de compras en un supermercado, tienes tu carrito de compras con algunos productos. Lo que haces es empujarlo una sola vez con fuerza y este se empieza a mover hacia delante,

- 1) ¿Crees que el carrito de compras se va a detener en algún momento? ¿Por qué?
- 2) ¿Habría diferencia en el movimiento del carrito si el suelo del supermercado estuviera hecho de hielo?

Situación 5: Imagina que estás jugando golf y tu objetivo es que la pelota caiga en uno de los hoyos.

- 1) ¿Cómo puedes cambiar el estado de reposo de la pelota para que se mueva en la dirección que quieres?
- 2) ¿Qué sucede con el movimiento de la pelota si el suelo por donde se mueve tiene poca fricción como el hielo?

Situación 6: Imagina que estás conduciendo un auto, pero de repente dejas de presionar el acelerador, ¿el auto detendrá su movimiento automáticamente o continuará moviéndose, pero cada vez más lento hasta detenerse? Explica tu respuesta.

Situación 7: Imagina que estás montando bicicleta y vas a alta velocidad. De repente, la rueda de adelante choca con una roca por lo que la bicicleta se frena de repente.

- 1) ¿Qué crees que te sucede a ti?
- 2) ¿Qué crees que pasaría si en vez de tener una velocidad alta vas en la bicicleta muy lentamente?

Situación 8: Imagina que utilizas el tren o un metro para llegar a otro lugar. Estás de pie porque no hay asientos disponibles y estás agarrado a algo para sostenerte. El metro se mueve a alta velocidad, pero de repente algo falla, el conductor observa que a lo lejos una persona se encuentra cerca de las vías, entonces decide frenar con la mayor fuerza posible para detener el viaje.

- 1) ¿Consideras que este suceso de frenar por emergencia puede afectar de alguna manera a tu posición dentro del transporte? ¿Qué crees que pasa? Explica tu respuesta.
- 2) Si el tren o metro está en la misma situación, pero en vez de ir con alta velocidad tiene una velocidad muy baja y frena, ¿cómo crees que esto influye en lo que te pasa a ti?

Nota: Realiza un pequeño dibujo indicando las fuerzas de la situación.

Preguntas extra:

¿Qué te pareció la sesión de clase? Destaca algo positivo y algo negativo, en caso de que haya.

¿Crees que la simulación de Phet te permitió comprender mejor la Primera Ley de Newton? ¿Por qué?

¿Los vídeos y el experimento te ayudaron para entender mejor la Primera Ley de Newton? ¿De qué manera?

Anexo 8.**Preguntas que orientan la entrevista individual semiestructurada**

- ¿Cómo te pareció el proceso de las clases de las Leyes de Newton?
- ¿Con qué herramientas crees que pudiste aprender más? ¿Los juegos, videos, simulaciones o experimentos? ¿Por qué?
- ¿Crees que hay diferencia entre las estrategias de clase usadas durante este proceso y las sesiones de clase que habitualmente tienes? ¿Esa diferencia te benefició para aprender con mayor facilidad?
- ¿Qué tal te parecieron los experimentos realizados? ¿Cómo crees que aportan a tu proceso de aprendizaje?
- ¿Cómo crees que las herramientas tecnológicas aportan a tu proceso de aprendizaje de las Leyes de Newton? ¿Por qué?
- ¿Qué entiendes por las tres Leyes de Newton?