

El espacio-tiempo en la enseñanza de la física

Space-time in the teaching of physics

Erick Rodolfo Ortiz Ibáñez¹ , Rosa Nidia Tuay Sigua¹ 

¹Universidad Pedagógica Nacional, Doctorado Interinstitucional en Educación. Grupo de Investigación Educación en Ciencias, Ambiente y Diversidad (EduCADiverso), Bogotá, Colombia

RESUMEN

Más de cien años han transcurrido desde la formulación de la Teoría de la Relatividad, sin embargo, esta y otras temáticas de la física moderna, como el constructo del espacio-tiempo aún no están incluidas en los lineamientos escolares de secundaria, p. ej., en Colombia. Los currículos escolares deben estar actualizados a la vanguardia científica dado que desde ahí se incentiva a las nuevas generaciones de científicos, de modo que es importante incluir la interpretación del espacio-tiempo porque es esencial para la comprensión de la teoría de la relatividad. Por lo anterior, el presente artículo pretende generar un análisis reflexivo de la comprensión y construcción del espacio-tiempo en la física y su vinculación a la educación secundaria, detallando su importancia en la enseñanza de la ciencia. Se realizó una revisión documental entre 2012 a 2024 en las bases de datos de Scopus y Google Académico y finalmente se revisaron 20 documentos que aportan directa e indirectamente a la enseñanza del espacio-tiempo en la educación secundaria. Asimismo, esta revisión permite entrever el esfuerzo que ha realizado la comunidad académica en abordar las temáticas actuales de la física, reconociendo así que el pensamiento moderno debe estar presente en la formación científica del estudiante.

PALABRAS CLAVE: espacio-tiempo; enseñanza de la física; teoría de la relatividad; educación secundaria.

ABSTRACT

More than a hundred years since the formulation of the Theory of Relativity has passed. However, this and other topics of modern physics, such as the construct of space-time are still not included in school guidelines, e. g., in Colombia. School curricula must be updated to the forefront of science since, from there, new generations of scientists can be encouraged, so it is important to consider the teaching of science in secondary school classrooms for scientific education, hence the need to include updated physics at these educational levels since the interpretation of space-time is essential for understanding the theory of relativity. Therefore, this article aims to generate a reflective analysis of the understanding and construction of space-time in physics and its link to secondary education, detailing its importance in teaching science. To this end, a documentary review was carried out between 2012 and 2024 in the Scopus and Google Scholar databases, where finally, 20 documents were reviewed that directly and indirectly contribute to teaching space-time in secondary education. Likewise, this review allows us to glimpse the effort that the academic community has made in addressing current topics in physics, thus recognizing that modern thinking must be present in the student's scientific training.

KEYWORDS: space-time; teaching of physics; theory of relativity; secondary education.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Erick Rodolfo Ortiz Ibáñez
INSTITUCIÓN: Universidad Pedagógica Nacional / Doctorado Interinstitucional en Educación
DIRECCIÓN: Calle 72 núm. 11-86, Bogotá, Colombia. Código postal 110221
CORREO ELECTRÓNICO: erortizi@upn.edu.co

Fecha de recepción: 31 de julio de 2024. **Fecha de aceptación:** 18 de septiembre de 2024. **Fecha de publicación:** 3 de octubre de 2024.



I. INTRODUCCIÓN

En las primeras décadas del siglo XX, la Teoría de la Relatividad (TR) y la Mecánica Cuántica (MC) se conformaban como las nuevas teorías de la física, produciendo así un campo amplio en investigaciones y discusiones para las nuevas generaciones de científicos y propiciando una nueva revolución en las ciencias, dado que, y desde la perspectiva de Kuhn, “una revolución modifica el campo y cambia el lenguaje mismo con el que nos referimos a algún aspecto de la naturaleza” [1, p. 46]. De ahí que estas teorías no solo brindaron un camino diferente para la comprensión de la naturaleza, sino que además aportaron claridad a problemáticas a las que hasta finales del siglo XIX la física aún no generaba soluciones coherentes.

Estas nuevas teorías propulsaron avances científicos y tecnológicos significativos para el desarrollo sociocultural y económico del siglo XX, modificaron la manera de ver la física y el mundo. Sin duda alguna, los cambios y progresos del conocimiento científico se han presentado a lo largo de la historia de las ciencias, en siglos anteriores, p. ej., durante el siglo XIX, los avances del electromagnetismo no solo dieron un progreso científico, sino que también fueron aprovechados por la industria [2]. Asimismo, en el siglo XVII, con la publicación de *Los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural* de Isaac Newton, permitió dar una nueva comprensión a los fenómenos de la naturaleza y, desde luego, cuando Galileo Galilei observó a través de su telescopio más allá de la esfera terrestre, sentando las bases de una nueva astronomía [3]. Cada evento de las ciencias y, en este caso, la física, que ha trascendió en la historia desde la antigüedad hasta la época actual, ha cambiado la percepción del conocimiento científico y del mundo natural.

Ahora bien, estos acontecimientos que se han presentado a lo largo de la historia de las ciencias hasta la actualidad no son ajenos al campo educativo y en especial a la enseñanza de las ciencias en las aulas de la educación secundaria, es decir, las teorías y leyes científicas han tenido un proceso de desarrollo y comprensión que ha durado años, décadas y hasta siglos, por lo que comprimir todo este conocimiento científico en unas pocas horas a la semana, en clases de ciencias, resulta ser un reto bastante complejo y más aún cuando el conocimiento científico sigue avanzando constantemente, Ugo Besson argumenta que

el problema de incluir la llamada “física moderna” en la escuela secundaria ha sido objeto de largos y cuidadosos debates y estudios. Se trata de evaluar que temas conviene incluir, en qué momentos del currículo, en qué nivel de análisis de profundidad y con que métodos y objetivos [4, p. 249].

Por consiguiente, la enseñanza de la física debe ir más allá de los contenidos conceptuales y de los montajes experimentales que solo quieren evidenciar la formulación de una teoría o la comprobación de una ley física. Moreira considera que “los contenidos físicos no deben ser enseñados como verdades inmutables, sino como construcciones, creaciones del hombre” [5, p. 51], a lo que Izquierdo *et al.* [6] postulan la actividad científico escolar como la configuración de un contexto, donde el estudiante interviene constantemente con los docentes y unos saberes dados, introduciendo la formación de pensamiento científico que se transformará a uno complejo y a un lenguaje en el que pueda expresarlo, así que la ciencia escolar es la construcción de nuevas maneras de pensar, hablar, sentir y actuar frente a los aspectos propios de la actividad científica y de la explicación del mundo.

Aun así, y aunque las nuevas teorías científicas son de bastante importancia para los avances del conocimiento científico, cada una de ellas contiene una inmensa cantidad de elementos que hay que analizar de manera individual. La relevancia particular que tienen estos aspectos para la comprensión de la denominada física moderna es fundamental, por lo que la enseñanza de las ciencias se convierte en un papel esencial en el aula con el fin de lograr la comprensión de los alcances de la ciencia.

Por lo anteriormente descrito, se puede identificar o más bien desglosar algunos elementos para construir un debate que permita generar la comprensión de una teoría y, asimismo, conlleve a proponer un avance en la enseñanza de las ciencias. Por tanto, el presente artículo muestra una discusión acerca de la concepción del espacio-tiempo para así reflexionar y evidenciar su importancia de este para iniciar con la comprensión de la Teoría de la Relatividad en la educación secundaria.

Por último, cabe resaltar que este análisis reflexivo surge como aporte investigativo para la tesis doctoral del primer autor del presente artículo.

SOBRE EL ESPACIO-TIEMPO (ET)

El año de 1905 es considerado como el año milagroso de la física del siglo XX y cabe resaltar que bajo esta expresión también se contempla el año 1666 gracias a los trabajos de Isaac Newton que revolucionaron la ciencia. Albert Einstein publicó cinco artículos en *Annalen der Physik*, entre los que se encontraba *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento. Allí “logró resolver mediante un análisis crítico los fundamentos cinemáticos de la física, la teoría del espacio y del tiempo, que subyace a la mecánica, la electrodinámica y en realidad cualquier otra teoría dinámica” [7, p. 78].

Además, Einstein revolucionó por completo las concepciones de espacio-tiempo unificándolos y estableciendo que las medidas variaban al considerar el sistema de referencia inercial del observador [8], por lo que

basado en una cuidadosa definición de simultaneidad de sucesos distantes, demostraba que el concepto de un tiempo universal o absoluto, sobre el que se basa la cinemática newtoniana, tenía que ser abandonado... (esto conllevó a que) la teoría de la relatividad especial (TER) proporcionó también a los filósofos abundante material para reflexionar sobre las nuevas ideas de espacio y tiempo [7, p. 145].

Este análisis proyectado por Einstein se originó dado las problemáticas que se encontraban en la electrodinámica y que la mecánica newtoniana no lograba esclarecer, por lo que él formuló una nueva teoría de movimiento teniendo en cuenta la velocidad de la luz y los sistemas inerciales.

Entonces, para ello planteó que:

La luz en el espacio vacío siempre se propaga con cierta velocidad V que no depende del estado de movimiento del emisor ... La introducción de un “éter” resultará ser superflua puesto que de acuerdo con los conceptos a desarrollar no es necesario introducir un espacio en reposo absoluto [9].

Posteriormente, esto se divulgó como los postulados de la TER, que se resumen en que todas las leyes de la física son las mismas en un sistema inercial y que es necesario considerar la velocidad de la luz finita, que es la misma en todos estos sistemas inerciales y además que nada será más veloz que esta [10].

Ahora bien, la discusión acerca de ¿qué es el espacio? y ¿qué es el tiempo? ha estado presente a lo largo de la historia tanto desde la perspectiva filosófica como científica; p. ej., Kant tiene la intención de comprobar “que el espacio absoluto, independientemente de la existencia de toda materia, y, asimismo, como razón primera de la posibilidad de su composición, tiene una realidad propia” [11, p. 14]. Esta postura kantiana se basa en la intuición. Por otro lado, Newton los consideraba como absolutos, iguales e inmóviles [12], sin embargo, algunos intelectuales no estaban acordes a las ideas de absolutismo de Newton, como Leibniz, quien fue uno de los mayores opositores de Newton; según ha evidenciado la historia y filosofía de la ciencia, él exponía al “espacio como orden de coexistencia y del tiempo como orden de sucesión” [13, p. 40].

Leibniz exhibía que algunos filósofos “sostenían que el espacio es un ser real absoluto ... parece que esta entidad debe ser eterna e infinita ... era el mismo Dios” [13, p. 67], pero, así como existían opositores de Newton, también se encontraba seguidores, entre ellos Clarke, quien le refutaba a Leibniz que “el espacio no es un ser, un ser eterno e infinito, sino una propiedad, o una consecuencia de la existencia de un ser infinito y eterno. Ese espacio infinito es la inmensidad, pero la inmensidad no es Dios” [13, p. 73].

El querer demostrar una interpretación del espacio-tiempo data de hace varios siglos atrás y se ha convertido en una investigación histórica y filosófica de las ciencias, Schlick expresa que:

Desde tiempos muy tempranos fue librada por los filósofos una controversia inconcluyente en relación con si el espacio vacío era real o meramente idéntico con la nada ... Nadie en efecto, ve el espacio y al tiempo como real en el mismo sentido en el que lo es la silla en la que estoy sentado o el aire que respiro. No puedo tratar con el espacio como con los objetos materiales o con la energía, que puedo transportar de un lugar a otro, manipular a voluntad, comprar y vender. Todo el mundo siente que hay alguna diferencia entre ellos; el espacio y el tiempo son, en un sentido u otro, menos *independientes* que las cosas que existen entre ellos ... no podemos hablar del espacio sino hubiera cuerpos materiales; y la concepción del tiempo sería, así mismo, vacía de significado sin ningún evento o cambio tomara lugar en el mundo. Pero aun en la mente popular, el espacio y el tiempo no son meramente nada” [14, p. 181].

Todo lo antedicho evidencia claramente una discusión acerca del ET, tanto así que al hablar respecto al espacio y al tiempo coloquialmente se puede deducir que el espacio es un lugar donde se puede almacenar un objeto y el tiempo es una medida entre sucesos, así no exista un cambio de posición o movimiento, es decir, en una habitación puede haber un grupo de personas y ese será el espacio para ellos y el tiempo será el mismo, puesto que en sus relojes estará el mismo mecanismo que hará que el reloj mueva su minutero cada sesenta segundos, y la hora cada sesenta minutos y así funcionara para todos, esto es el espacio y el tiempo absoluto igual para todos, estén en reposo o en movimiento.

No obstante, toda la categorización del espacio y del tiempo puede desenfundarse desde un análisis histórico y filosófico. ¿Qué es el espacio?, ¿qué es el tiempo? Aristóteles mencionaba que solo era posible percibir el tiempo al cambiar de estado. Si bien, la comprensión del ET abarca un problema en las ciencias, en especial en la física, dado que Einstein dio una perspectiva acerca de ellos lo cual le permitió formular su teoría de la relatividad y, aunque el reloj tenga el mismo mecanismo, la percepción del tiempo es diferente para cada uno, es decir, para cada sistema de coordenada puede variar y este depende de su velocidad.

Ahora bien, antes de la formulación de la TER, algunos científicos se oponían a la idea absolutista pretendiendo analizar un poco más al espacio-tiempo. Stadler describe que:

Mach expresa su rechazo tanto de cualquier concepción metafísica y unilateralmente mecanicista de la física, como de las categorías sintético *a priori* del movimiento absoluto, del espacio absoluto y del tiempo absoluto en tanto que conceptos sustanciales del todo superfluos [15, p. 113].

Ernest Mach, en su texto *Die Mechanik* de 1883, expone que

el tiempo es más bien una abstracción a la que llegamos a través del cambio de las cosas ... no podemos hablar de un tiempo absoluto (independiente de cualquier cambio). Este tiempo absoluto no puede ser medido por ningún movimiento, por lo que no tiene valor práctico ni científico alguno ... nadie puede decir nada sobre el espacio y el movimiento absolutos; son simplemente cosas de pensamiento que no pueden demostrarse en la experiencia [16, pp. 209-213].

Por otro lado, en la conferencia pronunciada en la 80.^a reunión de científicos naturales en Colonia en septiembre de 1908, Herman Minkowski iniciaba su locución acerca del espacio y del tiempo, planteando que:

Las ideas sobre el Espacio y el Tiempo, ... han crecido en terrenos de la física experimental. En ella reside su fuerza. A partir de ahora, el Espacio por sí mismo y el Tiempo por sí mismo, deberán de hundirse completamente en las sombras, y solamente una especie de unión de ambos podrá preservar su independencia [17].

Ahora, la discusión anteriormente descrita entre el espacio y el tiempo en la física es primordial agregarla al contexto educativo, puesto que ello permite comprender la evolución del conocimiento científico y de las teorías que revolucionaron la ciencia, como la teoría de la relatividad. Por consiguiente, el presente artículo expone la importancia de incluir las temáticas de la física moderna, en especial el espacio-tiempo en el aula de secundaria; para ello inicia con una revisión en las bases de datos en Scopus y Google Académico con una ventana de observación de 2012 a 2024 y posteriormente se describe los resultados mostrando el diálogo de la incursión de esta temática en el aula.

II. METODOLOGÍA

En primer lugar, para presentar el análisis y reflexión acerca del espacio-tiempo en la enseñanza de la física en las aulas de la educación secundaria, se realizó una búsqueda de literatura en las bases de Scopus y Google Académico entre los años 2012 a 2024 con las siguientes ecuaciones de búsqueda (Tabla 1). Los documentos seleccionados proceden de autores con afiliación institucional en Argentina, Australia, Colombia, Estados Unidos, Grecia, Israel, Noruega, Países Bajos y Reino Unido, los cuales muestran un interés investigativo en introducir directa o indirectamente el constructo del espacio-tiempo en este nivel educativo. Posteriormente, se muestra el análisis de datos de los resultados encontrados.

TABLA 1
ECUACIONES DE BÚSQUEDA

CATEGORÍA	SCOPUS	GOOGLE ACADÉMICO
Espacio-tiempo	"Space time" OR "spacetime" OR "space and time" AND "science education" AND "science teaching" AND "theory of relativity"	"espacio tiempo" + "educación científica" + "enseñanza de las ciencias" + "teoría de la relatividad"

Los resultados obtenidos se relacionan en la Figura 1, que corresponde al diagrama de flujo adaptado de la declaración PRISMA [18].

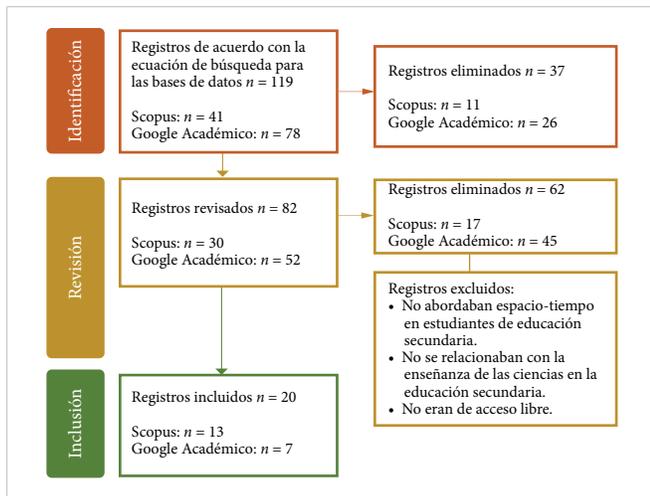


Figura 1. Diagrama de flujo de la revisión documental.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La revisión de literatura en las bases de datos de Scopus y Google Académico, de acuerdo con las ecuaciones de búsqueda anteriormente descritas frente al espacio-tiempo en la física encaminada a la educación secundaria, permite observar categorías de análisis, como el tipo de documento investigativo (Tabla 2), y la cantidad de investigaciones realizadas por año (Figura 2).

TABLA 2
TIPO DE INVESTIGACIÓN

BASE DE DATOS	SCOPUS	GOOGLE ACADÉMICO
Artículos	12	1
Conferencias/ponencias	1	3
Trabajo de pregrado	-	1
Tesis de maestría	-	1
Tesis doctoral	-	1

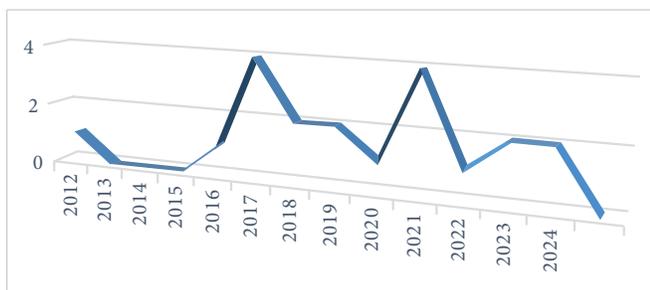


Figura 2. Investigaciones por año.

Los documentos revisados se encuentran en inglés y español y han sido presentados en revistas, memorias y repositorios (Tabla 3).

TABLA 3
PUBLICACIONES

MEMORIAS/REVISTAS/REPOSITORIO	DOCUMENTOS
ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings	1
Cognition and Instruction	1
Enseñanza de las Ciencias Investigaciones Didácticas	1
European Journal of Science and Mathematics Education	1
International Journal of Science Education	1
Physical Review Physics Education Research	2
Physics Education	1
Research in Science Education	1
Revista de Enseñanza de la Física	3
Revista Tecné. Episteme y Didaxis TED	1
Science & Education	4
Universidad de Antioquia - Colombia	1
Universidad Metropolitana de Educación, Ciencia y Tecnología - Panamá	1
Universidad Pedagógica Nacional - Colombia	1

Ahora, bien en la Figura 2 se puede observar la producción por año al investigar la posible incursión del espacio-tiempo en la educación desde 2012 a junio de 2024.

Esta revisión muestra que en los años 2017 y 2021 se realizó una producción investigativa de 4 documentos que abordó el espacio-tiempo en la educación secundaria, sin embargo, estos resultados revelan la limitada indagación que existe frente al abordaje de estas temáticas en el nivel educativo de la educación secundaria.

ABORDAJE DEL ESPACIO-TIEMPO

De los 20 documentos revisados, algunos acogen el espacio-tiempo de una manera directa o indirecta, considerando la primera como el enfoque central al abarcamiento y comprensión del espacio-tiempo y la segunda como un complemento para abordar la comprensión de diferentes conceptos que envuelve la Teoría de la Relatividad, como gravedad, energía, masa, velocidad y observador, entre otros.

Por consiguiente, 6 documentos analizados [19], [20], [21], [22], [23], [24] abordan las temáticas del espacio-tiempo de una manera indirecta, dado que se enfocan en querer explicar las diferentes propuestas que abordan la teoría de la relatividad, entre ellas la teoría de gravedad de Einstein y, asimismo, en querer interpretar y dar a conocer el concepto de observador en la física. Otras propuestas [21] plantean la realidad virtual para la comprensión del espacio-tiempo curvo cuando hay presencia de una masa, si bien esta hace referencia al espacio-tiempo, es llevada a un público de nivel educativo superior a la educación secundaria. Por otro lado, se encuentran revisiones de literatura enfocados a evidenciar las problemáticas de aprendizaje en todos los niveles educativos entorno a marcos de referencia, postulados y los posibles efectos relativistas [22], así como también a representar la naturaleza de la ciencia en diversos libros de texto que abordan la Teoría de la General de la Relatividad (TGR) [23].

En cambio, 14 documentos analizados [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], los cuales corresponde a 2 ponencias o conferencias, 9 artículos, 1 trabajo de grado, 1 tesis de maestría y 1 tesis doctoral, evidencian la importancia del constructo del espacio-tiempo para la comprensión de la teoría de la relatividad y, asimismo, la pertinencia de introducir estas temáticas en currículos escolares de la educación secundaria, demostrando la viabilidad de sumergir a estudiantes de este nivel educativo en teorías de física actualizadas para así promover la comprensión de las ciencias.

EL ESPACIO-TIEMPO EN LA ENSEÑANZA

El espacio-tiempo en la física ha estado en discusiones filosóficas, epistémicas e históricas, entre otros [39]; sus interpretaciones han sido indagadas para la comprensión de la Teoría de la Relatividad (TR), sin embargo, estas no se han llevado con relevancia hacia los contextos escolares, por lo que se hace necesario contribuir a “más investigaciones para explorar cómo las cuestiones clave de la filosofía del espacio y tiempo y de la Teoría Especial de la Relatividad (TER) en la historia de la física puede ser implementado en una secuencia de enseñanza” [22]. Por este motivo, hay que repensar cómo incluir temáticas de la física moderna en el aula, teniendo en cuenta que son teorías científicas que han proporcionado tanto en avances significativos en el pensamiento y conocimiento científico como en avan-

ces tecnológicos, por lo que es necesario ir replanteando la manera cómo se enseña física en la escuela [32] y, asimismo, integrar en los contextos cotidianos con la física actual contribuyendo a nuevas estrategias pedagógicas que cultiven el interés de la ciencia por parte de los estudiantes desde niveles educativos anteriores a los universitarios [19].

Aun así, las investigaciones frente a la enseñanza e interpretación del espacio-tiempo de la física encaminadas a la educación secundaria son muy escasas. Algunos autores han abordado estas temáticas en sus trabajos al querer aproximar la enseñanza de la teoría de la relatividad (TR) al aula escolar [22], [40], [24].

Kaur *et al.* [26] sostienen que la concepción del espacio, del tiempo y de otras variables que inciden en la Teoría Especial de la Relatividad genera un cambio sustancial comparado con la física clásica. En consecuencia, es necesario que la educación escolar o secundaria integre las temáticas de la física moderna, puesto que al incluir estas enseñanzas al aula puede conllevar a que los estudiantes tengan una mayor comprensión e interpretación de las problemáticas que han permitido y permite evolucionar a la ciencia y, por ende, a la física.

Además, Kersting *et al.* [28] manifiestan que a los estudiantes les cautiva las interpretaciones de espacio-tiempo e intentan explicarlo y relacionarlo mediante la geometría y sus contextos. Adicionalmente, señalan que el material pedagógico para la escuela en torno a la enseñanza y aprendizaje de la Teoría de la Relatividad es limitado y aun así consideran que al proporcionar correctamente los constructos teóricos de una manera efectiva a través del diálogo docente-estudiante, contribuirá en la comprensión de las teorías científicas por parte de ellos.

Por su parte, Cayul y Arriasecq [38] proponen secuencias de enseñanza y aprendizaje (SEA) a través de los diagramas de Minkowski o espacio-tiempo para la enseñanza de la TER en educación secundaria. En esta misma línea, Arriasecq *et al.* [31] sugieren que en las SEA existan las cinco partes siguientes para el abordaje de la TER: 1) analizar cuestiones histórico-epistemológicas, 2) revisión de conceptos de la mecánica clásica necesarios para la TER, 3) los conceptos en conflicto del electromagnetismo y la mecánica clásica, 4) discusión de los aspectos fundamentales de la TER y 5) que los estudiantes conozcan los aspectos de la vida de Albert Einstein.

Además, en el momento de analizar cuál es la fundamentación y definición del espacio y del tiempo, en especial en la enseñanza de la física en educación secundaria, lo primero que se establece es la concepción absolutista de Newton y el relativismo de Einstein [36]. No obstante, las ideas o concepciones del espacio y del tiempo y sus primeras interpretaciones datan de la época griega, principalmente desde Aristóteles.

Por tanto, la configuración espacio-tiempo en la física moderna permite al estudiante iniciar un proceso de análisis y razonamiento en el que se desarrolle el pensamiento crítico en la ciencia, basándose en las anomalías que presentaban las dos teorías, es decir, la física clásica y la física moderna, puesto que en la primera el espacio y el tiempo eran absolutos y a ambos corrían de la misma manera sin importar el sistema de referencia, algo contrario a lo que sucede cuando estos, están sujetos a la velocidad de la luz.

PROPONIENDO LA ENSEÑANZA DEL ESPACIO-TIEMPO EN EL AULA

Desde la política educativa de Colombia, el Ministerio de Educación Nacional (MEN) [41] expone unos Estándares Básicos de Competencias de los niveles académicos de primer grado hasta grado undécimo, es decir, la educación básica y básica secundaria. En este documento se encuentra las ciencias (sociales y naturales) y allí describen lo que los estudiantes básicamente deben conocer y qué pueden hacer con ese conocimiento.

Ahora, desde estos lineamientos las ciencias naturales (física, química y biología), se componen en el entorno vivo, un entorno físico y la relación de la ciencia con la tecnología y si bien allí se describe lo que los estudiantes deben saber ser y hacer para aproximarse al conocimiento científico [41], solo se muestra un manejo de conocimientos de las ciencias que datan hasta el siglo XIX, dejando de un lado el conocimiento que se desarrolló desde el siglo XX, escenario a lo que hoy se conoce como la física moderna.

Ostermann y Moreira [42] destacan que es necesaria la actualización de los currículos de lo que se enseña en física en la secundaria, partiendo de la idea que “es un error pensar que ellos no tienen capacidad (de abstracción, por ejemplo) de aprender tópicos” de la física moderna. Por ende, es procedente introducir la enseñanza del espacio-tiempo en la escuela secundaria y así iniciar

con la comprensión de las teorías de la física moderna, como la TER, dado que “la teoría de la relatividad se halla íntimamente vinculada a la teoría del espacio y del tiempo” [43, p. 51].

Por consiguiente, nacen estas preguntas: ¿cómo abordar el espacio-tiempo en el aula?, ¿cómo introducir el espacio-tiempo en el campo de la enseñanza de las ciencias?, partiendo que es un constructo que ha sido evaluado y discutido a lo largo de la historia de las ciencias por físicos y filósofos, por lo que una de las apuestas que se propone para ello es llevarla desde la Historia y Filosofía de la Ciencias (HFC).

En su análisis de los aportes de Michael Matthews en la enseñanza de las ciencias a través de HFC, Nathan Willig [44] enfatiza que “la historia y la filosofía son herramientas y medios importantes para mejorar educación científica, haciéndola coherente con los objetivos de una educación liberal”, por lo tanto, en la enseñanza de la ciencia es significativo el uso de la HFC para una educación científica contextualizada. Arriassecq y Rivarosa consideran que la enseñanza de las ciencias debe ser de

una manera que permita a los estudiantes realizar un análisis crítico del hecho de que los aspectos sociales, históricos, filosóficos, éticos y contexto tecnológico está estrechamente vinculado al desarrollo, validación y aplicación del conocimiento científico [por lo que es necesario] considerar con mayor profundidad la reformulación de proyectos curriculares en los diferentes niveles educativos [45].

Lo anterior rescata la importancia de traer la historia y filosofía de la ciencia al aula a nuestros currículos escolares, visto que “la filosofía de la ciencia determina como hacer que los conceptos científicos sean significativos y se relacionen con la estructura científica ... (y) la historia de la ciencia da los medios para justificar afirmaciones científicas” [46].

Por lo tanto, la interpretación del espacio-tiempo en la educación secundaria, mediante la historia y filosofía de la ciencia, desarrolla en el estudiante un pensamiento cognitivo y crítico para la comprensión tanto de la evolución del conocimiento científico y de las teorías de la física moderna. Esto se plantea desde el mapa de diseño curricular (MDC) [47] (Figura 3).

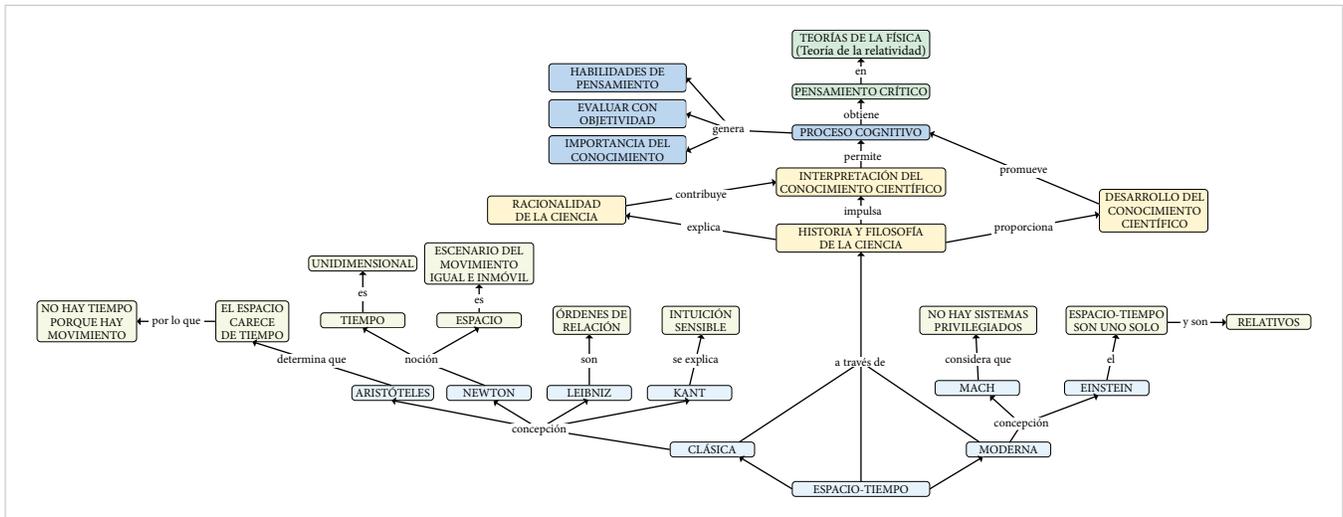


Figura 3. MDC de espacio-tiempo.

Este Mapa de Diseño Curricular es un modelo que permite comprender desde dónde iniciar y a dónde se pretende llegar. Aunque cada nivel tiene su contexto, su investigación, análisis e interpretación, no deja de ser significativo para lograr cumplir con el objetivo de introducir las temáticas de la física moderna en las aulas de la educación secundaria y, en este caso particular, en la construcción del entendimiento del espacio-tiempo para la formulación de la Teoría de la Relatividad.

Es fundamental tener en cuenta que la “ciencia es más que un cuerpo de conocimiento, es una manera de pensar” [48, p. 35], por consiguiente, aprender sobre una teoría científica, en este caso particular sobre la física y el espacio-tiempo, es asequible a todo público siempre y cuando esté motivado a ir más allá de su propio saber, tanto así “la ciencia nos acompaña en tal medida que todos tenemos una gran cantidad de intuiciones sobre lo que ésta involucra” [49]. No obstante, Wartofsky [50], citado por Ayala *et al.*, “considera que el conocimiento científico no se trata simplemente de tener conocimientos de los hechos sino de razonar a partir de ellos y asimismo razonar en dirección de ellos” [51]. Esto demuestra que la relatividad y en particular el espacio-tiempo puede ser abordada por todo aquel que desea aprenderla y enseñarla, no únicamente por aquellos que hayan deseado inclinarse por estudios sobre el campo de la física.

REFLEXIONES FINALES

No existe una única ruta para la enseñanza de las ciencias que contemple la física moderna para la educación secundaria. Llevar al aula temáticas como el espa-

cio-tiempo, que permitan la comprensión del desarrollo del conocimiento científico y por ende la Teoría de la Relatividad, son arduos trabajos y extensas investigaciones las cuales permitirán transformar tanto las prácticas educativas como los currículos escolares.

Siempre estarán presentes las preguntas de ¿cómo abordar las diferentes temáticas de la física moderna en el aula de secundaria?, ¿cómo abordar el espacio-tiempo en el aula secundaria? Por ende, este artículo se presenta para reflexionar sobre la importancia de la enseñanza de las ciencias en cuanto a temáticas que se encuentran inmersas en la física moderna y si son necesarias abordarlas desde niveles educativos básicos, como en la educación secundaria.

La discusión presentada acá sobre el constructo del espacio-tiempo evidencia que el conocimiento científico ha tenido que pasar por razonamientos que han permitido modificar las teorías y así plantear otras para lograr la comprensión de la naturaleza y del Universo mismo. Por ende, considerarlas desde la escuela secundaria permite mostrar en los estudiantes la relevancia de la ciencia, generando una motivación para comprender la utilidad de ella en el entorno cotidiano.

Asimismo, da pie para repensar cuál fue la necesidad de la física, para establecer que, en primer lugar, el espacio y el tiempo no son ni deben ser considerados por separados, sino que son un solo “espacio-tiempo” y esto fue lo fundamental para que Albert Einstein lograra sentar las bases de su Teoría de la Relatividad y, en segundo lugar, que el espacio-tiempo no se debe facultar como

un concepto exacto y absoluto, sino que es una entidad que se constituye principalmente de un sistema de referencia.

Finalmente, es importante considerar la importancia de la historia y filosofía de la ciencia en los procesos de enseñanza de las ciencias, ya que estas permiten generar este tipo de análisis y discusiones en la comprensión del conocimiento científico actual y adicionalmente permite proyectar modos de actuar para el abordaje de la ciencia moderna en las aulas de la escuela secundaria. Por tanto, la enseñanza de la física debe tener una profundidad histórica, filosófica y cultural para que se incorpore en lo cotidiano y se muestre interesante para los estudiantes y no referirse a una enseñanza donde no se interprete y que se lleve a cabo un aprendizaje de teorías porque simplemente funcionan [52].

Es clave señalar que las nuevas generaciones tienen una mayor accesibilidad a las tecnologías modernas y hoy en día a la inteligencia artificial (IA), por lo que los docentes deben ir a la vanguardia en los procesos de enseñanza-aprendizaje para así lograr la captación de sus estudiantes y lograr atraerlos hacia las ciencias. La investigación desarrollada por Montoya y Tuay muestran que “estudiantes de secundaria evidencian una clara tendencia positiva hacia la ciencia y que, a partir del análisis de la taxonomía COCTS (Cuestionario de Opiniones sobre ciencia, tecnología y sociedad), son de relevancia temas referentes a sus vivencias... (junto a) la ciencia aplicada en contextos específicos” [53]. Sin embargo, es importante establecer en el aula un proceso de razonamiento en la construcción del conocimiento científico mediante la historia y filosofía de la ciencia, que aporta en la construcción de un pensamiento crítico en los estudiantes de secundaria, Adúriz-Bravo exalta la “importancia que hoy en día se otorga a una enseñanza de las ciencias “informada” por la filosofía y la historia de la ciencia, enseñanza que apunta a la preparación de ciudadanos críticos que puedan tomar decisiones “socio-científicas” bien argumentadas” [54].

Para abordar la relatividad en la escuela secundaria es necesario incluir la entidad del espacio-tiempo, ya que es el objeto de conocimiento de esta, como lo expresa Sánchez Ron:

Como sucede en cualquier cambio profundo, para comprenderlo es preciso conocer lo que había antes ... para comprender la génesis de la teoría de la relatividad espe-

cial, que modificó radicalmente conceptos, como los de espacio tiempo absolutos, sobre los que asentó Newton su dinámica [55, p. IX].

Esto muestra que el espacio-tiempo es un pilar en la construcción y comprensión de la teoría de la relatividad, dado que estos son afectados por el movimiento a velocidades cercanas a la luz y, asimismo, contribuye en la abstracción y el entendimiento de la curvatura espaciotemporal en presencia de una masa, por lo que su abordaje es fundamental para ir más allá y captar toda la esencia de esta teoría relativista y sus aplicaciones apoyados en tecnologías como es el caso de los dispositivos de localización GPS (Global Positioning System).

IV. CONCLUSIONES

Este trabajo investigativo permite evidenciar la importancia y alcance que puede tener en la enseñanza de la física al introducir temáticas de la física moderna o actual en las aulas de la educación secundaria.

Y aunque la Teoría de la Relatividad fue propuesta hace más de cien años, aún causa controversia su comprensión e indagación, por lo que es primordial considerar su enseñanza conceptual desde las aulas de la educación secundaria, iniciando claramente desde el entendimiento del espacio-tiempo, dado que esta teoría fue la que revolucionó la interpretación del espacio y del tiempo para dar pie a nuevas indagaciones de la física.

Finalmente, un pequeño aporte de la enseñanza de la física en la interpretación del espacio-tiempo en los estudiantes de secundaria constituye un avance significativo en lograr un interés hacia las ciencias y, asimismo, a conocer la construcción del conocimiento a lo largo de la historia.

REFERENCIAS

- [1] T. S. Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas: ensayo preliminar de Ian Hacking*, México: Fondo de Cultura Económica, 2013, pp. 9-51.
- [2] J. M. Sánchez, *Espacio-Tiempo y Átomos. Relatividad y Mecánica Cuántica*, Madrid: Ediciones Akal, S. A., 1992.
- [3] J. M. Sánchez, “Usos y Abusos de la Historia de la Física en la Enseñanza”, *Enseñanza de las ciencias*, vol. 6, n.º 2, pp. 179-188, 1988.

- [4] U. Besson, *Didattica della fisica*, Carocci editore Studi Superiori, 2015.
- [5] M. Moreira, “Enseñanza de la física: aprendizaje significativo, aprendizaje mecánico y criticidad”, *Revista de Enseñanza de la Física*, vol. 26, n.º 1, pp. 45-52, 2014.
- [6] M. Izquierdo, M. Espinet, J. Bonil y R. Pujol, “Ciencia escolar y complejidad”, *Investigación en la escuela*, n.º 53, pp. 21-29, 2004.
- [7] J. Stachel, *Einstein 1905: un año milagroso. Cinco artículos que cambiaron la física*, Barcelona: Crítica, S. L., 2011.
- [8] J. M. Sánchez, “Albert Einstein”, en *Las matemáticas del siglo XX una mirada en 101 artículos*, A. Martinon, coord. España: Universidad de La Laguna, Sociedad Canaria Isaac Newton de Profesores de Matemáticas, Nivola, 2000, pp. 109-114.
- [9] A. Einstein, “Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento”, *Annalen der Physik*, vol. 17 pp. 891-921, 1905 (trad. por H. Quevedo, abr. 2005).
- [10] J. Ordoñez, V. Navarro y J. Sánchez, *Historia de la ciencia*, Barcelona: Austral, 2013.
- [11] K. Immanuel, *La ‘Dissertatio’ de 1770. Sobre la forma y los principios del mundo sensible y del inteligible*, Madrid: Ediciones Encuentro, S. A., 2014.
- [12] N. Isaac, *Principios Matemáticos de Filosofía Natural*, Madrid: Alianza Editorial, 2013.
- [13] E. Rada, *La polémica Leibniz-Clark*, Madrid: Taurus Ediciones S. A., 1980.
- [14] M. Schlick, “El espacio y el tiempo en la física contemporánea. Una introducción a la teoría de la relatividad y la gravitación (1917)”, en *El empirismo lógico. Textos básicos*, T. Mormann y Á Peláez, comps. Bogotá, Universidad del Rosario, 2016, pp. 163-231.
- [15] F. Stadler, “Ernst Mach: el paradigma antimetafísico positivista”, en *El círculo de Viena. Empirismo lógico, ciencia, cultura y política*, S. Friedrich, coord. México D. F., Fondo de Cultura Económica, 2011, pp. 107-136.
- [16] E. Mach, *Die Mechanik in Ihrer Entwicklung Historisch-Kritisch dargestellt*, Leipzig: F. A. Brockhaus, 1883.
- [17] H. Minkowski, “Raum und zeit”, conferencia presentada en la 80.ª reunión de científicos naturales en Colonia, B. G. Teubner, 1908.
- [18] M. J. Page *et al.*, “Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas”, *Rev Esp Cardiol*, vol. 74, pp. 790-799, 2021.
- [19] G. Vakarou, G. Stylos y K. T. Georgios, “Effect of didactic intervention in Einsteinian physics on students’ interest in physics”, *Eur. J. Sci. Math. Educ.*, vol. 12, n.º 2, pp. 200-210, 2024.
- [20] I. Galili, “The Observer Concept in Science as a Basis for Its Further Curricular Application Within the Discipline Culture Paradigm”, *Science & Education*, pp. 1-31, 2024.
- [21] K. Schumacher *et al.*, “GR in VR: Using Immersive Virtual Reality as a Learning Tool for General Relativity”, presentado en la ASEE Annual Conference and Exposition, 2023.
- [22] P. Alstein, L. K. Krijtenburg y W. R. van Joolingen, “Teaching and learning special relativity theory in secondary and lower undergraduate education: A literature review”, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, vol. 17, art. 023101, 2021.
- [23] W. Park, S. Yang y J. Song, “When Modern Physics Meets Nature of Science”, *Sci & Educ*, vol. 28, pp. 1055-1083, 2019, doi: [1007/s11191-019-00075-9](https://doi.org/10.1007/s11191-019-00075-9).
- [24] R. R. Addad, A. Rosolio y R. Cassan, “Reflexiones sobre la enseñanza actual en física. Base conceptual”, *Revista de enseñanza de la física*, vol. 34, n.º extra, pp. 9-14, 2022.
- [25] C. McInerney y P. Sutton, “Einsteinian gravitational concepts throughout secondary school”, *Phys. Educ.*, vol. 53, n.º 1, art. 015001, 2023.
- [26] T. Kaur *et al.*, “Determining the Intelligibility of Einsteinian Concepts with Middle School Students”, *Res Sci Educ*, vol. 50, pp. 2505-2532, 2020.
- [27] R. Steier y M. Kersting, “Metaimagining and Embodied Conceptions of Spacetime”, *Cognition and Instruction*, vol. 37, no. 2, pp. 145-168, 2019, doi: [10.1080/07370008.2019.1580711](https://doi.org/10.1080/07370008.2019.1580711).
- [28] M. Kersting y R. Steier, “Understanding Curved Spacetime. The Role of the Rubber Sheet Analogy in

- Learning General Relativity”, *Sci & Educ*, vol. 27, n.º 7-8 27, pp. 593-623, 2018, doi: [10.1007/s11191-018-9997-4](https://doi.org/10.1007/s11191-018-9997-4).
- [29] M. Kersting, E. K. Henriksen, M. V. Bøe y C. Angell, “General relativity in upper secondary school: Design and evaluation of an online learning environment using the model of educational reconstruction”, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, vol. 14, n.º 1, art. 010130, 2018. doi: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010130](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010130).
- [30] I. Rizos, A. Patronis y D. Lappas, “‘There is One Geometry and in Each Case There is a Different Formula’ Students’ Conceptions and Strategies in an Attempt of Producing a Minkowskian Metric on Space-Time”, *Sci & Educ*, vol. 26, n.º 6, pp. 691-710, 2017, doi: [10.1007/s11191-017-9915-1](https://doi.org/10.1007/s11191-017-9915-1).
- [31] I. Arriassecq, E. E. Cayul y I. M. Greca, “Secuencias de enseñanza y aprendizaje basadas en resultados de investigación: propuesta de un marco teórico para el abordaje de la teoría especial de la relatividad”, *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 35, n.º 1, pp. 133-155, 2017.
- [32] K. Dimitriadi y K. Halkia, “Secondary Students’ Understanding of Basic Ideas of Special Relativity”, *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 34, n.º 16, pp. 2565-2582, 2012, doi: [10.1080/09500693.2012.705048](https://doi.org/10.1080/09500693.2012.705048).
- [33] L. M. D. González, R. C. A. Martínez y R. E. Solís, “La investigación didáctica sobre los libros de texto, el espacio en física y el conocimiento escolar”, *Tecné. Episteme. Didaxis: TED*, n.º extraordinario, pp. 2557-2565, nov. 2021.
- [34] V. M. d. R. Pantoja, “Los experimentos mentales en la enseñanza: una manera de construir conocimiento de los conceptos de espacio y tiempo”, tesis doctoral, Universidad Metropolitana de Educación, Ciencia y Tecnología (UMECIT), Panamá, 2021.
- [35] E. J. Arboleda, “El perspectivismo en el espacio tiempo de Einstein: Una alternativa para articular la formación en ciencias y la formación ciudadana por medio de reflexiones filosófico-epistemológicas”, trabajo de grado, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 2021.
- [36] I. E. R. Ortiz, “Los conceptos del espacio-tiempo entre Newton y Einstein para la enseñanza de la física”, tesis de maestría, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia, 2017.
- [37] I. Arriassecq, E. Cayul y I. M. Greca, “Enseñanza de la teoría general de la relatividad en la escuela secundaria: por qué, qué y cómo”, *Revista de Enseñanza de la Física*, vol. 29, n.º 2, pp. 33-44, 2017, doi: [10.55767/2451.6007.v29.n2.18802](https://doi.org/10.55767/2451.6007.v29.n2.18802).
- [38] E. E. Cayul y I. Arriassecq, “Utilización de los diagramas de Minkowski para la enseñanza de la Teoría Especial de la Relatividad en la escuela secundaria”, *Revista Enseñanza de la Física*, vol. 27, n.º extra, pp. 323-331, 2015.
- [39] C. E. Guarín, “Diversidad conceptual y epistémica de los conceptos de espacio y tiempo”, tesis de maestría, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia, 2013.
- [40] B. Stein, H. Stein y I. Galili, “The Concept of Observer in Science Teaching in Middle School: Pre-Instructional Knowledge as a Lever for Learning rather than an Obstacle”, *Educ. Sci.*, vol. 13, n.º 1, pp. 2-25, 2023, doi: [10.3390/educsci13010095](https://doi.org/10.3390/educsci13010095).
- [41] *Estándares Básicos de Competencias en Lenguaje, Matemáticas, Ciencias y Ciudadanas*, Ministerio de Educación Nacional, Bogotá, Colombia, sept. 20, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://www.mineducacion.gov.co/portal/men/Publicaciones/Guias/116042:Estandares-Basicos-de-Competencias-en-Lenguaje-Matematicas-Ciencias-y-Ciudadanas>
- [42] F. Ostermann y M. A. Moreira, “Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores”, *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 18, n.º 3, pp. 391-404, 2000.
- [43] A. Einstein, *El significado de la relatividad*, Barcelona: Planeta-Deagostini, 1986.
- [44] L. N. Willig, “Michael Matthews and the development of History, Philosophy and Science Teaching: thirty years after ‘the present rapprochement’”, *Rev. Sci. Math. ICT Educ.*, vol. 15, n.º 2, pp. 101-121, 2021, doi: [10.26220/rev.3824](https://doi.org/10.26220/rev.3824).
- [45] I. Arriassecq y A. Rivarosa, “Science Teaching and Research in Argentina: The Contribution of History and Philosophy of Science”, en *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, M. R. Matthews, ed. Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013, pp. 2301-2326.

- [46] Y. Lehavi y B.-S. Eylon, “Integrating Science Education Research and History and Philosophy of Science in Developing an Energy Curriculum”, en *History, Philosophy and Science Teaching, Science: Philosophy, History and Education*, M. Matthews, ed. Springer International Publishing AG 2018, 2018, pp. 235-260.
- [47] Á. García-Martínez, R. Hernández-Barbosa y L. Abella-Peña, “Diseño del trabajo de aula: un proceso fundamental hacia la profesionalización de la acción docente”, *Revista Científica*, vol. 33, n.º 3, pp. 316-331, 2018.
- [48] C. Sagan, *El Mundo y sus Demonios. La Ciencia como una luz en la Oscuridad*, Barcelona: Planeta, 2000.
- [49] K. Lambert y G. Brittan, *Introducción a la Filosofía de la Ciencia*, Madrid: Ed. Guadarrama Punto Omega, 1975.
- [50] M. W. Wartofsky, *Introducción a la Filosofía de la Ciencia*, Madrid: Alianza Universidad, 1983.
- [51] M. M. Ayala, M. Garzón y F. Malagón, “Consideraciones sobre la Formalización y Matematización de los Fenómenos Físicos”, *Praxis Filosófica*, n.º 25, pp. 39-54, 2007, doi: [10.25100/pfilosofica.v0i25.3111](https://doi.org/10.25100/pfilosofica.v0i25.3111).
- [52] O. Levrini, “Relatività ristretta e concezioni di spazio”, *Gironale di fisica*, vol. XL, n.º 4, pp. 205-220, 1999.
- [53] P. A. Montoya-Ramírez y R. N. Tuay-Sigua, “Actitudes de estudiantes de Secundaria hacia las Ciencias Naturales: estudio preliminar datos ROSES”, *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, n.º 55, pp. 172-189, 2024, doi: [10.17227/ted.num55-18845](https://doi.org/10.17227/ted.num55-18845).
- [54] A. Adúriz-Bravo, “Hacia una didáctica de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación”, en *Indagaciones cognoscitivas acerca de la enseñanza de la filosofía y de la ciencia*, Z. Monroy, R. León-Sánchez y G. Alvarez, eds. México: UNAM, 2021, cap. 1, pp. 1-24.
- [55] J. M. Sánchez, *Albert Einstein: su vida, su obra y su mundo*, Barcelona: Editorial Crítica, 2015.