

## Investigación didáctica sobre el espacio en física y conceptos relacionados con él: una revisión de antecedentes

*Didactic research on space and related concepts in physics: a background check*



**Dra. María Delia González Lizarazo** es estudiante de Doctorado en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia) · mdgonzalezl@educacionbogota.edu.co · <https://orcid.org/0000-0002-6372-43272>



**Dra. Carmen Alicia Martínez Rivera** es profesora titular en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia) · camartinezr@udistrital.edu.co · <https://orcid.org/0000-0003-3822-2920>



**Dr. Emilio Solís Ramírez** es Investigador Honorario en la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Sevilla (España) · esolis@us.es · <https://orcid.org/0000-0002-5595-6283>

### Cómo citar este artículo

González Lizarazo, M.D., Martínez Rivera, C.A. y Solís Ramírez, E. (2023). Investigación didáctica sobre el espacio en física y conceptos relacionados con él: una revisión de antecedentes. *Investigación en la Escuela*, 106, 146-158. doi: <https://doi.org/10.12795/IE.2023.i106.12>

**Resumen.** Se ha llevado a cabo una revisión documental teórica de antecedentes en torno a la producción académica sobre el conocimiento escolar sobre el espacio y conceptos relacionados con él, en la física. A partir de esta revisión, se espera identificar elementos didácticos relevantes para la construcción de teoría escolar, en el ámbito del conocimiento escolar, específicamente en relación al espacio. Esta primera aproximación a la construcción de los antecedentes se ha llevado a cabo mediante la revisión y análisis de las producciones académicas que se seleccionaron tras una exploración documental en bases de datos de nivel internacional y en revistas de amplia trayectoria en investigación didáctica a nivel internacional y nacional (Colombia). Como resultados se presentan y describen las tendencias y focos de investigación identificados y se hace referencia a aspectos didácticos para su enseñanza y aprendizaje como: errores conceptuales, ideas de los estudiantes, propuestas de enseñanza, etc.

**Abstract.** A theoretical documentary review of antecedents has been carried out around the academic production of school knowledge related to space. From this review, it is expected to identify relevant didactic elements for the construction of school theory, in the field of school knowledge, specifically concerning space. This first approach to the construction of the antecedents has been carried out through the review and analysis of the academic productions that were selected after a documentary exploration in databases of international level and journals of extensive trajectory in didactic research at the international and national level (Colombia). As result, the trends and research focus identified are presented and described and hand reference is made to didactic aspects for its teaching and learning such as conceptual errors, student ideas, teaching proposals, etc.

### Palabras clave · Keywords

Didáctica, enseñanza secundaria, espacio, física, revisión sistemática.

Didactics, physics, secondary education, space, systematic review.

## 1. Introducción y justificación



Podemos afirmar que, en los últimos tiempos, se ponen en evidencia determinados aspectos en relación con el estudio del espacio en la enseñanza de la física. De una parte, el creciente interés sobre los contenidos de enseñanza relacionados con este concepto, tanto para la enseñanza de la física como para la enseñanza de las ciencias en general y por otra, se trata de un tema central en educación para el desarrollo en países como Estados Unidos, Rusia, Francia, España, entre otros. Como concepto es relevante para diferentes disciplinas ya que permite el diálogo de saberes de diferente naturaleza y es una noción muy poderosa en el sistema de conducta humano, lo que favorece el acercamiento a los diferentes niveles de la organización del conocimiento (mega, macro, meso y micro cosmos), mediante nociones que además permiten el dialogo meta y multidisciplinar, todo ello en consonancia con la teoría alternativa sobre los contenidos escolares que plantea García (1998).

La didáctica de las ciencias, se ha ido configurando como un espacio de reflexión respecto a las relaciones entre los humanos y el medio, cuyo objetivo principal es promover el enriquecimiento del conocimiento cotidiano al hilo de la ciencia y la tecnología actuales. Se buscan puntos de encuentro entre las diferentes epistemologías del conocimiento: el científico, el común, el escolar y el cultural (García, 1998; Porlán, 2018), que permitan la complejización del pensamiento de las personas, mediante el abordaje de problemas, preguntas y conjeturas, en relación con la realidad y la naturaleza.

En este contexto, se reconoce que el conocimiento que se produce en la escuela, como indican Solís y Porlán (2003): Surge como elemento regulador y dialéctico entre lo que “se piensa” y lo que “se hace”, en relación con los principios y teorías que fundamentan el desarrollo curricular (principios, teorías psicológicas, teorías curriculares, concepciones epistemológicas, concepciones sobre la función social que debe cumplir la enseñanza, etc...) y lo que podemos denominar la puesta en práctica del desarrollo del currículo (qué finalidades, qué contenidos, cómo se desarrollan, cómo se evalúan, qué referentes se adoptan). (p.8).

Se trata de la producción de un conocimiento particular y epistemológicamente diferenciado el “conocimiento escolar”. Pensamos que acercarnos a su entendimiento, favorece la comprensión y la transformación de la actividad escolar a nivel metodológico (García, 1998; Martínez-Rivera, 2017). La construcción del conocimiento escolar la promueve el profesorado a través de intercambios de conocimiento entre situaciones, contando con las ideas de los estudiantes y analizando fuentes de conocimiento y contextos. De esta manera, esperamos que su conocimiento profesional, así como sus concepciones favorezcan el enriquecimiento de las ideas de los estudiantes.

De esta manera, indagar la producción académica y la investigación didáctica sobre el espacio en física que se ha llevado a cabo en educación secundaria y bachillerato, a nivel internacional, permite la identificación de elementos didácticos que serán relevantes en el entendimiento de las propuestas de conocimiento escolar que sobre el espacio en física se presentan en los textos escolares y el uso que el profesorado hace de ellas.

Esto nos permitirá, reflexionar sobre el espacio como un contenido estructurante en orden a visualizar los aspectos didácticos más relevantes en la caracterización de las propuestas de conocimiento escolar de los textos escolares y en el uso que de ellos hace el profesorado de física para bachillerato en Colombia. Además, también nos posibilitará identificar algunos obstáculos que subyacen en las ideas de los estudiantes, el profesorado y los textos escolares, que dificultan la complejización de propuestas de aula, así como del conocimiento escolar del espacio.

## 2. Materiales y métodos

Se ha seguido una revisión de antecedentes teórica documental, para investigación en educación (Orozco y Díaz, 2018), de las producciones académicas que desde el año de origen de las fuentes hasta el 2019, se han presentado a nivel internacional y nacional sobre el conocimiento escolar (en adelante **CE**) relacionado con temas del espacio y otros asociados a él, en la enseñanza de las ciencias y de la física, secundaria y bachillerato. En cada revisión se realiza una lectura de los títulos, resúmenes y palabras clave de los documentos que se organizan, en una tabla, de acuerdo con la fuente de búsqueda, los criterios de selección. Una vez realizado este procedimiento, se lleva a cabo una lectura completa de los documentos seleccionados que son organizados en una tabla dinámica y en ella se identifican: fuente, título, tendencia, problema de investigación, palabras clave, objetivos, metodología y resultados.

Como fuentes de búsqueda se han escogido bases de datos a nivel internacional y revistas a nivel nacional de amplia trayectoria y reconocimiento en el campo de la Educación en Ciencias, de acceso en los recursos bibliográficos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá). En el ámbito internacional se indaga en Scopus, SCIELO y ERIC, bajo los criterios de búsqueda inclusivos (en títulos y

resúmenes): Space AND science education AND physics; space AND physics education AND secondary school; physics education AND quantum physics AND secondary school; physics education AND secondary school AND relativity. Se complementa esta indagación, en el ámbito Latinoamericano, tras la consulta en dos revistas especializadas en la enseñanza de las ciencias de gran tradición en España y Colombia como lo son la revista Enseñanza de las Ciencias, una revista dirigida a profesores e investigadores del campo de la didáctica de las ciencias y de las matemáticas (1983- 2019) y la Revista TED (Tecné, Episteme y Didaxis) de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional, fundada en 1991, dirigida a la comunidad educativa y de investigadores iberoamericanos en Educación en Ciencias Experimentales, Matemáticas y Tecnología. Los criterios utilizados para estas fuentes (en títulos y resúmenes): espacio, física, relatividad, física moderna.

### 3. Resultados y Análisis

Del proceso de revisión y selección se identificaron 890 documentos, 666 en bases de datos y 224 en las dos revistas especializadas, a partir de los criterios de búsqueda mencionados para cada una de las cinco fuentes de información. Tras la lectura de los títulos y resúmenes se seleccionaron 88 (66 de las bases de datos y 22 de las revistas especializadas), se descartan aquellos que no sean para educación secundaria y que no hagan mención directa al concepto espacio, de estos se logran ubicar 66 documentos completos de libre acceso en las fuentes consultadas, los cuales son estudiados a profundidad y organizados en el gestor de referencia bibliográfica Mendeley.

Los resultados se han organizado de modo que se pueda ofrecer, en primera instancia, una perspectiva del comportamiento de las producciones académicas que a nivel internacional se han realizado en torno al conocimiento escolar sobre el espacio, en la enseñanza de las ciencias y la física en el periodo de tiempo comprendido entre la fecha de origen de las base de datos SCOPUS y el último año completo en que se llevó a cabo esta revisión (2019); a continuación se complementa con los resultados de una nueva indagación que incluye otras dos bases de datos de orden internacional (Scielo y Eric) y dos revistas representativas de la producción Latinoamericana y de Colombia (TED) y de España, Enseñanza de las Ciencias. Presentando el análisis de estos resultados se identifican tres tendencias y sus respectivos focos temáticos. Los ejemplos retomados en las tablas son aquellos que hacen referencia directa a asuntos relacionados con la caracterización del conocimiento escolar en torno a contenidos escolares sobre el espacio, en la enseñanza de la física y las ciencias naturales, para la educación secundaria y bachillerato. Los documentos seleccionados son aquellos que se visualizan de interés para caracterizar la propuesta de conocimiento escolar sobre el espacio en los textos escolares de bachillerato en Colombia.

Como resultado se detectan 3 tendencias generales, 1) Espacio y enseñanza de la física (visión clásica y moderna), 2) Espacio físico y enseñanza de la Astronomía y 3) Espacio físico y enseñanza de las ciencias de la tierra y del espacio, así como aspectos didácticos que resultarán importantes para después poder caracterizar el CE que sobre el espacio en física presentan los textos escolares y el uso que el profesorado hace de estos en la construcción de dicho CE.

#### 3.1. Producciones académicas en torno a contenidos escolares relacionados con el espacio en ciencias naturales (1967-2019): una primera aproximación ejemplificadora del problema a partir de la base de datos Scopus

Un panorama general de la investigación didáctica sobre el espacio se muestra a través de la indagación en la base de datos Scopus. De los resultados de búsqueda y la revisión del recurso bibliométrico, en la fuente referida, se resalta por ejemplo, la diversidad de áreas del conocimiento que dedican parte de su producción académica a temas relacionados con el espacio: ingeniería (23.1%), física y astronomía (19.5%), ciencias sociales (15.7%), ciencias de la tierra y del espacio (14.3%), informática y matemáticas (14%), otras (13.4%), con lo que podemos, por ejemplo, evidenciar su carácter multidisciplinar y estructurador (García, 1998) de diferentes campos de conocimiento relacionados entre sí.

Un creciente interés en el tiempo, a partir de 1990, sobre el asunto de investigación consultado sugiere la pertinencia de la investigación por ser un tema actual. Los primeros documentos se registran desde principios de los años 60, con baja producción que se mantiene hasta principios de los años ochenta y finales de los noventa con un máximo de 7 documentos en 1997, a partir del año 2001 la producción se incrementa siendo el 2018 el año de mayor producción con un total de 29 documentos.

La mayor parte de la producción académica, registrada en la fuente, se detecta en Estados Unidos (123) seguido por otros países de la comunidad Europea (56), Rusia (18), Australia (17) y China (12). La participación de Latinoamérica es escasa, Brasil (11) y ninguna en Colombia.

### 3.2. Resultados a nivel internacional y de Latinoamérica: tendencias de investigación

A partir de los resultados generales anteriormente presentados y en aras de brindar una perspectiva general en el ámbito internacional y nacional, se decide realizar una nueva búsqueda y selección de documentos de acuerdo con la lectura de títulos y resúmenes de los resultados de búsqueda en bases de datos y revistas especializadas. Tras la lectura y revisión de los títulos y resúmenes, resultado de las consultas, se hace una selección de las producciones académicas que se perfilan de interés en esta investigación. Los resultados se ilustran en la **tabla 1**.

**Tabla 1**

*Número de publicaciones seleccionadas y revisadas en las bases de datos y revistas estudiadas*

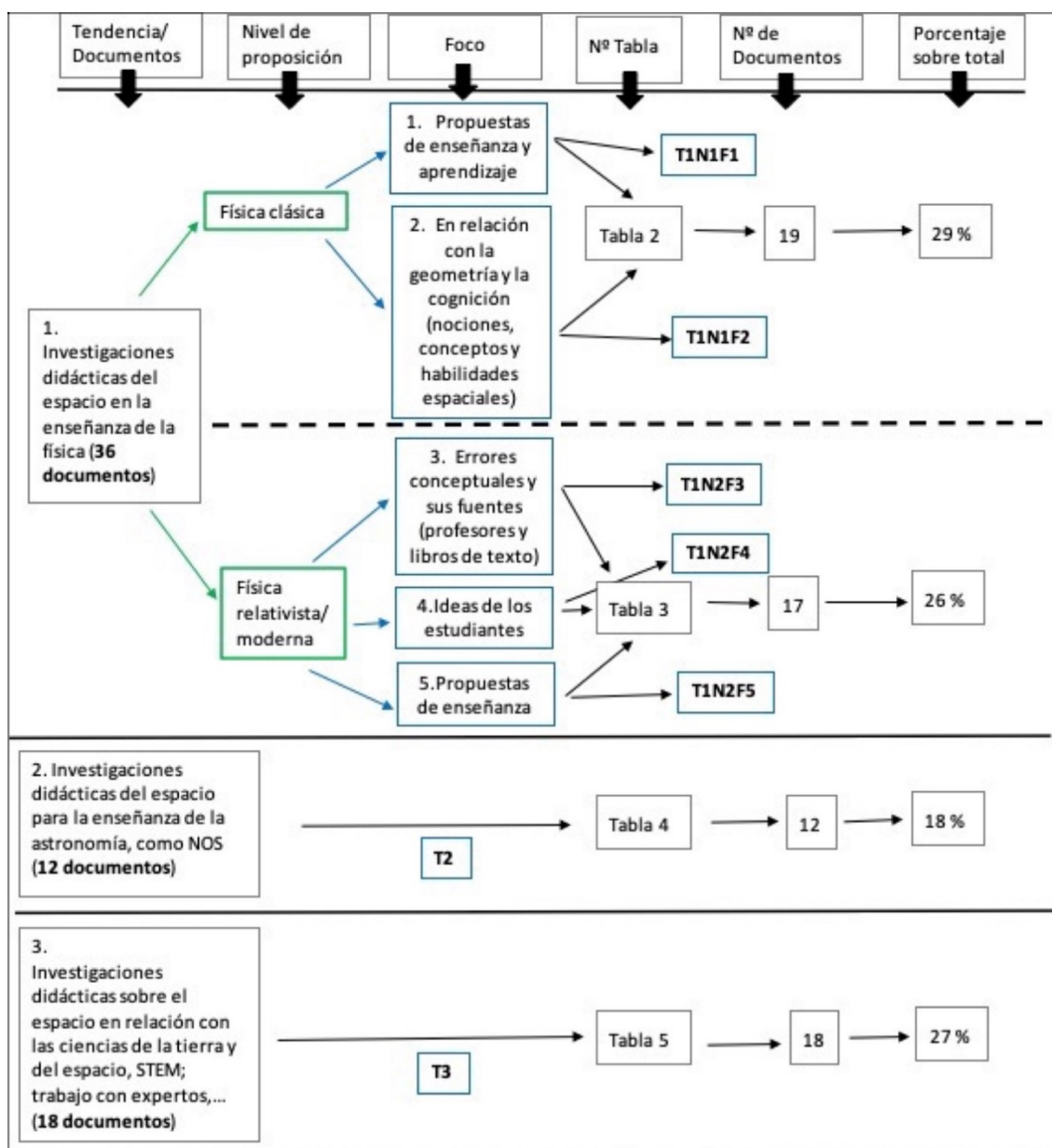
Fuente	Criterios de búsqueda	Encontrados	Seleccionados
BASE DE DATOS ERIC <a href="https://eric.ed.gov">https://eric.ed.gov</a>	Space AND science education AND physics	258	21
SCIELO <a href="https://scielo.conicyt.cl/">https://scielo.conicyt.cl/</a>	Space AND science education AND physics	16	3
Scopus <a href="https://www-scopus-com.bdigital.udistrital.edu.co">https://www-scopus-com.bdigital.udistrital.edu.co</a>	Space AND science education AND physics	317	20
	Space AND physics education AND secondary school.	39	10
	Physics education, quantum physics, secondary school	16	4
	Physics education, modern physics, secondary school.	13	3
	Physics education, secondary school, relativity.	7	5
Revista Tecné Episteme y Didáxis <a href="http://revistas.pedagogica.edu">http://revistas.pedagogica.edu</a>	Espacio, física, relatividad, física moderna	181	8
Revista Enseñanza de las Ciencias <a href="http://ddd.uab.cat/record/18">http://ddd.uab.cat/record/18</a>	Espacio, física, relatividad, física moderna	43	14
<b>TOTAL</b>		890	88

Fuente: Elaboración propia.

Los documentos seleccionados son organizados en tres tendencias y dentro de ellas algunos focos de interés, que se describen e ilustran en las tablas que se muestran en el resto del trabajo. Esta decisión se ha tomado “a posteriori” de acuerdo con los datos recogidos en la revisión. Solamente en la tendencia 1 hemos considerado necesario incluir dos niveles de proposición, uno relacionado con la física clásica y otro con la moderna/relativista, en función de las diferencias encontradas en los documentos seleccionados. Un resumen de las tendencias y los focos se encuentran en la figura 1, para una mejor lectura del documento.

**Figura 1**

*Tendencias, niveles de proposición, focos y porcentaje de documentos, detectados y categorizados en la revisión*



Fuente. Elaboración propia.

### 3.3. Tendencias de investigación

En este apartado presentamos los resultados de las tendencias de investigación, niveles de proposición y focos categorizados. Dado el elevado número de documentos (66) y la imposibilidad, por razones de espacio, para hacer mención de todos ellos, se ha optado por incluir en estos resultados, aquellos que consideramos más representativos y ejemplificadores de cada categoría. Para un panorama completo de la revisión realizada, se incluyen en el Anexo el resto de los documentos consultados y que no están presentes en las Reseñas Bibliográficas por no haber sido incluidos en esas ejemplificaciones.

#### Investigaciones didácticas del espacio en la enseñanza de la física (T1)

En esta tendencia se encuentran ubicadas aquellas producciones cuyo objeto de estudio son los contenidos de enseñanza relacionados con el espacio en física clásica y relativista con lo que se evidencian dos niveles de proposición (N1y N2) del concepto en el meso y mega universo. De los documentos analizados, 19 se han ubicado en esta tendencia por tratar contenidos del espacio para la educación secundaria desde la enseñanza de la física clásica. Para esta tendencia se identifican 2 focos principales de trabajo: propuestas de enseñanza y aprendizaje del espacio y relaciones con la geometría del espacio y la cognición en términos de nociones, conceptos y habilidades espaciales.



Las producciones ubicadas en el primer nivel de proposición (**N1**) que indagan sobre la enseñanza de contenidos del espacio contemplan diversidad de aspectos relacionados al respecto, como se presentan en la **tabla 2**.

**Tabla 2**

*Ejemplos de las investigaciones didácticas sobre el espacio en física clásica, para educación secundaria y bachillerato*

Autor (es)	Asunto investigado
<b>T1N1F1 Propuestas de enseñanza y aprendizaje</b>	
Zanotta, et, al. (2011).	Promover trabajo de aproximación histórica y conceptual en relación con la tecnología GPS.
Pine & Taylor (1991)	A partir del planteamiento de cuestiones sobre el espacio exterior, se llevan a cabo experiencias interactivas con expertos sobre los datos recibidos de ondas de radio en la ionosfera.
Holbrow (1981)	Presentar una propuesta de enseñanza que permita a los estudiantes reflexionar sobre la naturaleza fundamental de las leyes físicas del comparándolas con la perspectiva fenomenológica y empírica.
<b>T1N1F2 Geometría y la cognición (nociones, conceptos y habilidades espaciales)</b>	
Frappart & Frède (2016)	Analizar el grado de comprensión que estudiantes de segundo grado de secundaria adquieren, luego de un proceso de enseñanza, respecto a la gravitación terrestre y más allá.
Sanabria (2007)	Estudiar alternativas para orientar proceso de aprendizaje en movilidad y orientación para personas videntes e invidentes
Luque (2017)	Comprender los cambios en los epistemológicos que han sufrido los conceptos de sistemas de medida así como la representación del Espacio Euclidiano en física y matemáticas.

Fuente. Elaboración propia.

**T1N1F1.** En el primer ejemplo (Zanotta et al., 2011) se puede observar cómo a partir del uso de tecnología, los experimentos mentales y datos reales (imágenes del telescopio Hubble), es posible acercar el conocimiento de frontera al aula de clase, a partir de propuestas de aula que partan de situaciones problema como ¿cuán lejos podemos ver en el universo? Y propiciar con ello la evolución de las ideas de los estudiantes de la física clásica a la relativista.

El segundo ejemplo (Pine & Taylor, 1991) es un documento, resultado de un proyecto de investigación liderado por la NASA cuyo objetivo es comprometer a estudiantes de secundaria a la observación y grabación de ondas de radio, naturales y producidas por el hombre con el fin de que tomen partido en el desarrollo de conocimiento científico sobre el espacio físico; se parte de la convicción de que sólo el entendimiento de la relación ciencia y tecnología de nuestra sociedad moderna nos puede ayudar a tomar decisiones correctas en aspectos de la vida diaria, pública y profesional. El tercer ejemplo de esta categoría hace referencia a un proyecto de aula en el que a partir de una situación problemática ¿cómo sobrevivir en el espacio? se busca motivar a los estudiantes a aprender principios de física básica y a comprender las relaciones entre la ciencia y la tecnología Holbrow (1981). Es posible observar cómo en estas propuestas de enseñanza se busca que los estudiantes logren dar cuenta del vínculo existente entre la ciencia y la tecnología; además se puede evidenciar que, los contenidos del espacio, incluir conocimientos de frontera son un fuerte motivacional para que los estudiantes se interesen por la ciencia, además de trascender las ideas de los estudiantes sobre el espacio del mesocosmos al macro y megacosmos.

**T1N1F2.** También se muestran algunos ejemplos en la **tabla 2**, de cómo el desarrollo de nociones, conceptos y habilidades espaciales han sido un asunto de investigación tanto para la educación en física como para la geometría y psicología. La conceptualización del Espacio Euclidiano, se plantea como necesidad de enseñanza fundamental para la física, matemática y geometría en función de comprender y fomentar el desarrollo de nociones, habilidades y conceptos en torno a las propiedades y naturaleza del espacio clásico o Newtoniano. Por ejemplo, Frappart & Frède (2016) plantean la necesidad del trabajo en dichos tópicos dada la dificultad que se presenta a los estudiantes para adquirir conocimiento respecto al

espacio exterior por la falta de experiencias directas. Por su parte Sanabria (2007), resalta la importancia de la exploración y las representaciones del espacio cercano, en función de adquirir habilidades de orientación y movilidad espacial; como asunto particular plantea la situación especial de las personas invidentes y videntes, con lo que se asume la importancia para toda la comunidad en general. En otros documentos se trabajan aspectos relacionados, por ejemplo, con el desarrollo del lenguaje, a partir de la construcción argumentativa de conceptos geométricos del espacio euclidiano, en función de validar hipótesis relacionadas con fenómenos como las sombras solares y permitir a los estudiantes el desarrollo del lenguaje y del pensamiento hipotético deductivo (Luque, 2017).

Otro gran bloque de las investigaciones de la tendencia 1(T1), es el relacionado con la enseñanza de la física relativista y/o moderna (T1N2). De los documentos analizados, 17 de los 66, centran sus asuntos de investigación en temas relacionados con la enseñanza y el aprendizaje de contenidos escolares vinculados con el cambio conceptual (espacio-tiempo), en función de la enseñanza de la física relativista en secundaria. La física del siglo XX y XXI se presenta como asunto de interés especial en los currículos básicos de educación secundaria de algunos países (España, Argentina, Brasil y Estados Unidos), en razón de poner al alcance de los ciudadanos la cultura científica y tecnológica actual y así favorecer su forma de actuar crítica y responsable frente a la ciencia y la tecnología contemporáneas, que forman parte de su cotidianidad. Además, al tratarse de temas novedosos: agujeros negros, simultaneidad de los eventos, paradoja de gemelos, ondas gravitacionales, entre otros y plantear contradicciones sobre algunos conceptos primarios como el espacio y el tiempo, se plantea la posibilidad de que a través de su enseñanza sea posible incentivar la curiosidad de los estudiantes y a su elección como tema de estudio en carreras profesionales relacionadas y con ello promover el desarrollo científico y tecnológico (Pérez y Solbes, 2003; 2006).

Sin embargo, dado su alto nivel de complejidad matemática, la falta de experiencias prácticas y la dificultad conceptual que subyace a la enseñanza de la física relativista y por lo tanto a la enseñanza de contenidos relacionados con el espacio-tiempo, la investigación didáctica se ha centrado en aspectos como: errores conceptuales (Alemany, 1997), ideas de los estudiantes (Pérez & Solbes, 2006) y propuestas de enseñanza (Arriaseq y Greca, 2009), los cuales se tomarán en este documento como focos de investigación dentro de esta tendencia. Los resultados encontrados se organizan en la **tabla 3** en que se indica el asunto investigado y algunos aspectos importantes señalados por los autores.

**Tabla 3**

*Ejemplos de las investigaciones didácticas sobre el espacio en física moderna, para educación secundaria y bachillerato*

<b>AUTOR (ES)</b>	<b>ASUNTO INVESTIGADO</b>
<b>T1N2F3 Errores conceptuales y sus fuentes (profesores y textos).</b>	
Alemany (1997)	Errores de los profesores en la enseñanza de la física relativista.
Alemany & Pérez (2001)	
Arriaseq & Greca (2017)	Qué enseñar de la teoría de la relatividad, cómo y por qué
Pérez & Solbes (2003; 2006)	Dificultades en la enseñanza de la teoría de la relatividad en secundaria; aprendizaje de la relatividad en secundaria.
<b>T1N2F4 Ideas de los estudiantes</b>	
Pérez & Solbes (2003)	Problemas para la enseñanza de la relatividad en secundaria.
Capuano et al. (2007)	Indagar los preconceptos en Relatividad y edad y límites del universo de estudiantes de secundaria
<b>AUTOR (ES)</b>	<b>ASUNTO INVESTIGADO</b>
<b>T1N2F5 Propuestas de enseñanza.</b>	
Pérez & Solbes (2006)	Aprendizaje de la relatividad en secundaria.
Arriaseq & Greca (2009)	Diseño de secuencias de aprendizaje de la <b>TER</b> y <b>TGR</b> a través de la transposición didáctica
Alonso & Soler (2006)	Introducción de la teoría de la relatividad en secundaria mediante el uso de herramientas tecnológicas
Alemany & Pérez (2000, 2001)	Enseñanza de la física relativista por cambio conceptual; introducción del modelo geométrico de Minkowsky para la enseñanza de la relatividad en secundaria.

Fuente. Elaboración propia.

**T1N2F3.** De los documentos analizados, 5 de los 17 se corresponden a trabajos realizados en torno a los errores conceptuales identificados sobre el espacio. Se cree que los errores conceptuales, asunto de investigación didáctica, corresponden a ideas previas erróneas, que los estudiantes ya tenían interiorizados antes de llegar a la escuela (Campanario & Otero, 2000). Sin embargo, como se puede apreciar frente al tema de la enseñanza de la física relativista y la física moderna tienen otras fuentes de errores conceptuales. Por un lado, los maestros (Arriaseq & Greca, 2007) que, debido a su falta de formación o actualización en esta temática, tienden a deslizar las ideas que sobre los conceptos fundamentales como el espacio y el tiempo se tienen en la física clásica hacia la física relativista y por otro, los libros de texto en los que se tienden presentar el concepto espacio de forma inconexa y falta de contexto histórico y, por lo tanto, acrítico.

**T1N2F4.** Otras investigaciones, analizan el hecho de que no se tengan en cuenta las ideas de los estudiantes para promover los procesos de enseñanza y presentan bases inadecuadas respecto al concepto desde la física clásica lo que no permite un adecuado cambio conceptual de los mismos hacia la física relativista (Pérez & Solbes 2003; Capuano et al. 2007).

**T1N2F5.** Un tercer foco en el que se ubican 8 de las publicaciones, resultado de búsqueda, corresponden a propuestas de enseñanza y aprendizaje que abordan el concepto de espacio, en función de introducir contenidos de física moderna (relativista), también se muestra los ejemplos en la **tabla 3**.

Estas, entre otras investigaciones, resaltan aspectos como: la potencialidad de la visión newtoniana del concepto de espacio como concepción arraigada a la mente y a la psicología humana, (Pérez y Solbes, 2006). la forma acrítica e inconexa en que los libros de texto y profesores introducen el concepto, desde los primeros niveles de secundaria, sin tener en cuenta las investigaciones didácticas (Pérez y Solbes, 2006). Se evidencia la importancia del trabajo didáctico respecto a las ideas previas de los estudiantes en procesos de enseñanza y aprendizaje significativo, por cambio conceptual (Alemany, 2000). El componente geométrico del concepto expone la necesidad de introducir una nueva geometría (geometría de Minkowski, ya mencionado anteriormente), que permita al estudiante una mejor comprensión y capacidad de representación gráfica y visual, del espacio-tiempo que propone la física relativista (Alemany, 2001). Presentar los contenidos teóricos bien contextualizados, que sean cercanos al estudiante, por lo que Arriaseq et al. (2017) destacan la oportunidad que ofrecen referentes los epistemológicos, históricos y filosóficos por ejemplo para promover el desarrollo de habilidades cognitivas lingüísticas de los estudiantes en función de interactuar en un ambiente y una realidad cada día más mediada por aparatos tecnológicos de alcance masivo como el Sistema de Posicionamiento Global, **GPS**, por sus siglas en inglés, *Global Positioning System* (georreferenciación, localización, orientación), la información satelital (comunicaciones, GPS) y la información y el conocimiento de nociones y conceptos de la teoría de la relatividad a través de, por ejemplo, el cine, los simuladores y juegos virtuales, que nos permitan experimentar con las percepciones de la realidad, el tiempo y el espacio. La teorización y los avances tecnológicos de la **TER** (teoría especial de la relatividad) y la **TGR** (teoría general de la relatividad), han surgido rápidamente en el contexto contemporáneo; por lo que se precisa brindar a estos contenidos de un contexto social, histórico y cultural para enriquecer las ideas de los estudiantes. Además, mediante propuestas de enseñanza que permitan generar controversia sobre los conceptos fundamentales de espacio y tiempo es posible motivar el interés y la curiosidad de los estudiantes, por lo que se espera que al llevarlos a la escuela se incentive la escogencia de carreras afines (Pérez & Solbes, 2006).

## Investigaciones didácticas del espacio para la enseñanza de la astronomía en secundaria (T2)

En esta tendencia se ubican 12 de los 66 documentos, por abordar el tema de la enseñanza de contenidos relacionado con el espacio desde la astronomía. Algunos ejemplos en la **tabla 4**.

**Tabla 4**

*Ejemplos de las investigaciones didácticas sobre el espacio en física moderna, para educación secundaria y bachillerato. (T2).*

Autor (es)	Asunto investigado
Burris (1993).	La lectura y los experimentos mentales como estrategia de aprendizaje de la astronomía.
Costa et, al. (2018)	Creación de espacios comunitarios para el aprendizaje de la astronomía
Mohammed (2018)	Integración de estudio del espacio y la astronomía en el currículo formal.

Fuente. Elaboración propia.



Desde tiempos remotos y a partir de la observación del espacio exterior a la tierra se ha buscado dar respuesta a asuntos de trascendencia para la humanidad como lo son el origen del universo, su naturaleza y propiedades y en función de ello, establecer estos conocimientos como parte de sus hábitos, costumbres y creencias. Un ejemplo de ello es cómo la descripción del movimiento de los cuerpos celestes permitió al hombre establecer la medida del tiempo y la orientación espacial, aspectos claves en el desarrollo de la civilización humana. Por lo que en las propuestas de enseñanza se evidenciará el papel importante que el conocimiento cultural (museos y lugares arqueológicos) tiene en el aprendizaje de estos saberes, de ahí la importancia de involucrar a la comunidad en general a participar (Costa, et, al., 2018).

Es fundamental brindar la posibilidad a los estudiantes de hacer uso de la tecnología para la realización de observaciones detalladas y obtención de datos, cuyo análisis, permita la construcción de conocimiento científico, en la escuela, Russo (1988) por ejemplo, propone el uso de cámaras y fotografías que permitan a los estudiantes calcular la velocidad de rotación de la tierra, el uso de programas de computadora y la observación del cielo nocturno. Dada la importancia del tema y el rol tan importante que ha jugado en el desarrollo de la sociedad, en currículos y planes oficiales de estudio como el de Brasil y otros países en desarrollo se han establecido como obligatorios estos contenidos, por lo que deben abordarse, por ejemplo, desde la física en cursos de secundaria (Costa et. al., 2018). Se indica que, en el caso de no contar con recursos tecnológicos avanzados, es posible usar materiales de fácil acceso que permitan por ejemplo construir modelos del universo y de los cuerpos que en él están o recrear sus movimientos (Banks & Powell, 1992). Nutrir con nuevas tecnologías y teorías el estudio del cosmos favorece la forma en que entendemos el universo, por lo que se debe motivar su estudio con la creación de escenarios educativos para tal fin (Mohammed, 2018).

### Investigaciones didácticas sobre el espacio en relación con las ciencias de la tierra y del espacio (T3)

De los documentos analizados, 18 de los 66 se han situado en esta tendencia pues presentan como asuntos de investigación temas relacionados con la enseñanza y aprendizaje de contenidos relacionados con el espacio, desde las ciencias de la tierra y del espacio. Como se señaló en la revisión internacional en Estados Unidos, Rusia y algunos otros países de la comunidad europea es donde se concentra la mayor producción de documentos. Ello debido a que en sus currículos particulares el estudio del espacio (de la tierra y su exterior) son asumidos como parte integral de las ciencias naturales por lo que por ejemplo el NGSS, Next Generation of Science Standards, (2013) la enseñanza de las ciencias de la tierra y el espacio se asume como un espacio de aprendizaje multidisciplinar que comprende las matemáticas, la física, biología y la ingeniería y tiene como objetivo principal explorar tópicos como la geología o la astronomía. Otro ejemplo lo podemos encontrar en Francia con las ciencias de la tierra y el universo (STU, Sciences de la Terre et de L'univers), se constituyen en un campo del saber que tienen sus raíces en la historia natural y centra sus problemas en asuntos específicos del desarrollo de esta ciencia, diversificándose en muchas disciplinas y sub-disciplinas: astronomía, cosmología, geología, climatología, etc. Con esto se favorece el debate sobre las relaciones ciencia-metafísica y ciencia-religión, respecto al origen y la naturaleza del Universo, y sobre problemas sociales (medio ambiente, riesgos naturales, etc.), (Maurines & Ravacol, 2016). Por lo que en esta tendencia como foco principal de investigación se presentan propuestas de enseñanza de carácter multidisciplinar, con prácticas científicas y de ingeniería (STEAM, Science, Technology, Engineering, Arts and Maths), trabajo de análisis y recolección de datos reales en forma de macrodatos (big data), cuyo objetivo es apoyar a los estudiantes para que desarrollen conocimiento con el que puedan explicar ideas a través de las disciplinas científicas, así como la capacidad de explicar fenómenos para la vida y las ciencias físicas. Algunos ejemplos se presentan en la **tabla 5**.

**Tabla 5.**

*Ejemplos de las investigaciones didácticas sobre el espacio en las ciencias de la tierra y del espacio, para educación secundaria y bachillerato. T3*

Autor (es)	Asunto investigado
Denis et al. (2015)	Uso de herramientas pedagógicas de divulgación para abordar tecnologías espaciales y sus aplicaciones en nuestra vida diaria
Monge, et al. (2018)	Promoción de desarrollo de proyectos de investigación y tecnología espacial con estudiantes de secundaria

Bertoldi, et al. (2014) Implementación de cursos de ingeniería aéreo espacial con estudiantes de secundaria brasileros

Fuente. Elaboración propia.

#### 4. Conclusiones

De esta revisión, es posible apreciar la relevancia que viene siendo asumida en la educación en ciencias, respecto a los contenidos educativos relacionados con el espacio en física a nivel internacional, no así en Latinoamérica o Colombia. Se destaca entre otros aspectos, la diversidad de disciplinas sobre las que es posible asumir dichos contenidos para su enseñanza en educación secundaria por lo que se evidencian las diferentes perspectivas desde las cuales son asumidos: CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad), H&F de la C (Historia y Filosofía de la Ciencia), STEAM, big data, entre otros y se resalta el papel importante que cumplen dichos contenidos del espacio en el desarrollo de la sociedad, lo cual lleva tenerlos presentes en sus aspectos. didácticos, cognitivos y de formación del profesorado.

Se identifican 3 tendencias en relación a los contenidos educativos relacionados con el espacio: en la primera desde la enseñanza de la física, perciben dos niveles de proposición, una clásica con propuestas didácticas de Geometría y cognición del espacio (nociones, habilidades, conceptos) y otra relativista/moderna con focos en los errores conceptuales y sus fuentes, las ideas de los estudiantes y las propuestas didácticas. La segunda tendencia relacionada con la enseñanza de la astronomía utilizando referentes epistemológicos, la naturaleza de la ciencia y una aproximación a la ciencia a través de la astronomía como referente cultural. Finalmente, la tercera relacionada con la enseñanza de las ciencias de la tierra y del espacio. En el análisis realizado y en su categorización, encontramos que la Tendencia 1, es la mayoritaria, con el 55 % de los documentos, seguida de las investigaciones didácticas sobre la tierra y el espacio, con un 27 % (tendencia 3) y en último lugar, la enseñanza de la astronomía, con un 18% (Tendencia 2).

Otro aspecto a resaltar es la escasa investigación que en estos temas se ha llevado a cabo en Latinoamérica por lo que los trabajos llevados a cabo en Brasil y España son un referente importante en el ámbito de la didáctica de la ciencia, proporcionándonos información relevante sobre aspectos de importancia como son: los errores conceptuales sobre el espacio físico y las fuentes de dichos errores (libros de texto, ideas de los profesores, ideas de los estudiantes), aspectos relacionados con las ideas de los estudiantes que deben ser tenidos en cuenta en procesos educativos y propuestas de enseñanza que permiten apreciar fundamentos didácticos y pedagógicos para la misma. Todo esto, lleva su correlato en su importancia para la formación del profesorado.

Finalmente, ésta aproximación que se ha llevado a cabo justifica la pertinencia y relevancia de la misma para el contexto particular (Colombia), para el campo del conocimiento escolar en el contexto internacional y nos permite aportar conocimiento a la comprensión del problema de investigación planteado en esta revisión.

#### Referencias

- Alemany Berenguer, R. (1997). Errores comunes sobre relatividad entre los profesores de enseñanza secundaria. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 15(3), 301-307. <https://bit.ly/3pBjSKf>
- Alemany Berenguer, R. y Pérez Selles, J. (2000). Enseñanza por cambio conceptual: de la física clásica a la relatividad. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 18(3), 463-71. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21699>
- Alemany Berenguer, R. y Pérez Selles, J. F. (2001). Una nueva propuesta didáctica para la enseñanza de la relatividad en el Bachillerato. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 19(2), 335-43. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21751>
- Alonso, M. y Soler, V. (2006) La relatividad en el bachillerato. Una propuesta de unidad didáctica. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 24(3), 439-454. <https://bit.ly/3mMpXBv>
- Arriasecq, I. y Greca, I. (2007). Approaches to the Teaching of Special Relativity Theory in High School and University Textbooks of Argentina. *Science & Education*, 16(1), 65-86.
- Arriasecq, I. y Greca, I. (2009). La teoría especial de la relatividad: secuencia de enseñanza y aprendizaje para el nivel de enseñanza secundaria. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, Extra, 2107-2111. <https://bit.ly/2WJdO5E>

- Arriasecq, I., Greca, I. y Cayul, E. (2017). 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: revista de investigación y experiencias didácticas*, 35(1), 133-155. <https://bit.ly/34JwFMi>
- Banks, D. A. & Powell, H. D. (1992). THE THREE-DIMENSIONAL UNIVERSE: A new perspective on the stars. *The Science Teacher*, 59(7), 14–17. <http://www.jstor.org/stable/24170623>
- Bertoldi, A., Gessini, P., Polito, C., & Ishioka, I. (2014). Rocket models as motivator agent in teaching sciences and mathematics. *Proceedings of the International Astronautical Congress*, IAC. 11. 8261-8269.
- Burris, H. (1993). Everyone Deserves a Speeding Ticket, *Physics Teacher*, 31(1),30-31.
- Campanario, J. y Otero, J. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 18(2),155-69. <https://bit.ly/3ppvwHP>
- Capuano, V., Dima, G., Botta, I., Follari, B., De la Fuente, A., Gutierrez, E. y Perrotta, M. (2007). Una experiencia de aula para la enseñanza del concepto de modelo atómico en 8.º EGB. *Revista Iberoamericana de Educación*, 44(2), 1-10. <https://bit.ly/3pmm7ki>
- Costa-Junior, E., Fernandes, B., Lima, G., Siqueira, A., Paiva, J., Miranda-Santos, M., Tavares, J., Souza-Taynara V. y Gomes, T. (2018). Divulgação e ensino de Astronomia e Física por meio de abordagens informais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(4), e5401 – e5408.
- Denis, G., Gleyzes, A., Blat, S. & Castro, J. (2015). Space and science education: Motivating lessons of physics with earth observation satellites. *International Astronautical Congress (Paris)*, IAC. (13), 10046-10058.
- Frappart, S., & Frède, V. (2016) Conceptual Change about Outer Space: How Does Informal Training Combined with Formal Teaching Affect Seventh Graders' Understanding of Gravitation? *European Journal of Psychology of Education*, 31(4), 515-535.
- García, E. (1998). *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*. Díada Editora.
- Holbrow, C. (1981). Physics of Living in Space: A New Course. *American Journal of Physics*, 49(8) 725-732. 10.1119/1.12418.
- Luque-Arias, C. (2017). El método geométrico en la física. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 0(1). 10.17227/ted.num1-5717
- Martínez-Rivera, C.A. (2017). *Ser maestro de ciencias: productor de conocimiento profesional y de conocimiento escolar*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Maurines, L. & Ravacol D. (2016). Les sciences de la Terre et de l'Univers (STU): des recherches didactiques qui questionnent leurs caractéristiques épistémologiques, *Les sciences de la Terre et de l'Univers: spécificités et ouvertures*. 14, 9-36. 10.4000/rdst.1414
- Mohammed, N. (2018). Astronomy textbook's course outline of high schools for least developed countries. *International Astronautical Congress (Paris)*, IAC. <https://bit.ly/2WN2RA4>
- Monge, L., Rojas, M. y Alvarado, C. (2018). Promoting STEM in primary schools the case of supernovas space education program in central america. *International Astronautical Congress (Paris)*. IAC (69), 14321-14326.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: Achieve, Inc. on behalf of the twenty-six states and partners that collaborated on the NGSS.
- Orozco, J.; Díaz, A. (2018). ¿Cómo redactar los antecedentes de una investigación cualitativa? *Revista Electrónica de Conocimientos, Saberes y Prácticas*, 1(2), 66-82.
- Pérez, H. y Solbes, J. (2003). Algunos problemas en la enseñanza de la relatividad *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 21(1),135-146.
- Pérez, H. y Solbes, J. (2006). Una propuesta sobre enseñanza de la relatividad en el bachillerato como motivación para el aprendizaje de la física. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 24(2), 269-283. <https://bit.ly/2WLCMLe>
- Pine, W., & Taylor, W. (1991). Inspire Your Students. *Science Teacher*, 58(8), 32-35.
- Porlán Ariza, R. (2018). Didáctica de las ciencias con conciencia. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didáctica*, 36(3), 5-22. <https://bit.ly/37QL0ih>
- Russo, R. (1988). Shoot the Stars--Focus on Earth's Rotation. *Science Teacher*, 55(2), 24-26.
- Sanabria, L. (2007). Mapeo cognitivo y exploración háptica para comprender la disposición del espacio de videntes e invidentes. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 21, 45-65. 10.17227/ted.num21-359
- Zanotta, D., Cappelletto, E., & Matsuoka, M. (2011). The GPS: Connecting science and technology in physics classes. [O GPS: Unindo ciência e tecnologia em aulas de física]. *Revista Brasileira de ensino de física*, 33 (2), 2313-2 -2313-6.

## ANEXO

- Boero, P. (2012). Del análisis y la representación de situaciones espaciales hacia el pensamiento teórico en geometría: una ruta de tercero a noveno grado. *Rev. Fac. Cienc. Tecnol.* [online]. 32, 37-52.
- Boyer, R. (1973). Remote Sensing of Earth-A New Perspective. *Science Teacher*, 40(7), 32-39.
- Braga, M., Guerra, A., & Reis, J. (2012). History of science, physics, and art: A complex approach in Brazilian syllabuses. *Cultural Studies of Science Education*, 8(3), 9460- 9469.
- Caldwell, A. (2005). The "All Sky Camera Network". *Science Teacher*, 72(2), 47-49.
- Català, J. (2014). El tiempo en tus manos. Anamnesis en movimiento. *História: questões & debates*, 61(2), 19-43.
- Corona, A. (2008). La aceleración en el espacio y en el tiempo: cinemática de los arrancones. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 2(3), 346- 350.
- De la Torre, C. (1995). Ser y no estar: Esa es la cuestión de la física cuántica. *Revista de enseñanza de la física*, 8(2), 45-49.
- Domènech, A., Domènech, T., Casaus, M<sup>a</sup> E. y Bella, M.T. (1985). El espacio y tiempo clásicos y el espacio/tiempo de la relatividad especial. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, [en línea], Extra Part.: 2 (I) Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, 72-72. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51964>
- Fanaro, María. (2010). Enseñanza de la Mecánica Cuántica en la escuela media. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas*, Tesis didácticas, 28(2), 293.
- Fernandes de Oliveira, F. & Trevisano de Barros, R. (2017). Ensino de física para cidadania: Uma pesquisa buscando relacionar cinemática com as leis de trânsito. *TED: Tecnê, Episteme y Didaxis*, 0. <http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/4549/3742>
- Follari, B.; Gutiérrez, E., De la fuente, A. y Perrotao, M. (1999). Algunas ideas de los jóvenes sobre la relatividad y el universo. *Revista de Enseñanza de la Física*, 12(2), 37-43.
- García, P. (2013). The Fantastic hole: towards a theorisation of the fantastic transgression as a phenomenon of space. *Brunal, Revista de investigación sobre lo Fantástico*, 1(1), 15-35.
- Goodyear, E. (2006). Models of learning space: integrating research on space, place and learning in higher education. *Review of Education*, 4(2), 149-191.
- Gruber, R., Russell, H., & Matthews, S. (1991). Space curvature and the 'heavy banana' paradox'. *The Physics Teacher*, 29, 147-149. 10.1119/1.2343254
- Hamilton, J. (1973). Public sector benefits from aerospace research and development. *Science Teacher*, 40(3), 40-41.
- Hammond, D. (1983) Racing through Space, *Science Teacher*, 50(5), 48-51.
- Hermann, R., & Rommel, M. (2010). A Template for Open Inquiry: Using Questions to Encourage and Support Inquiry. In Ronald S. & Miranda, Rommel J. Earth and Space Science Hermann, *Science Teacher*, 77 (8), 26-30.
- Honeycutt, J. (1981). Ad Astra per Aspera, or Astronomy from the Ground Up. *Science Teacher*, 48(7), 38-39.
- Londero, L., & Gonçalves, J. (2015). A pesquisa sobre o ensino da relatividade especial e geral: implicações para a prática docente. *TED: Tecnê, Episteme y Didaxis*, 0(Extra), 582-587. 10.17227/01203916.3360
- Sakhawat Hossain, M. & Mallik, B. (2018). SALSAs is an ICT Based Educational Tool for Astrophysics Students to Study Structure and Dynamics of Milky Way Galaxy. *21st International Conference of Computer and Information Technology (ICCIT)*, 1-6. 10.1109/ICCITECHN.2018.8631979.
- Oliveira, R., & Ferreira, F. (2017). Valorizando a cultura Guarani-kaiowá através do ensino do espaço e do tempo. *Ciência & Educação (Bauru)*, 23, 759-774. 10.1590/1516-731320170030014
- Oliveira, T., Marcos, N., De Souza, P., & Baldessar, P. (2008). Análise da dinâmica de rotação de um satélite artificial: uma oficina pedagógica em educação espacial. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(1), 1401- 1410.
- Pallant, A., Pryputniewicz, S., & Lee, H. (2012). Exploring the Unknown, *Science Teacher*, 79(3), 60-65.
- Page, T. (1973). The Near-Earth Environment, *Science Teacher*, 40(3), 20-22.
- Pacheco Codina, A. (2017). Conceptos de espacio y tiempo en la física. *Tecnê, Episteme y Didaxis: TED*, 6, 1-8. 10.17227/ted.num6-5667
- Poulet, L., Vernay, A., Dalmas, B., Vernay, M., Delpeuch, P., & Sinn, T. (2017). A learning method based on a mission to mars for primary school children. *68° International Astronautical Congress, IAC*, 1-9.
- Piassi, L. (2013). Clássicos do cinema nas aulas de ciências - a física em 2001: uma odisseia no espaço *Ciênc. Educ., Bauru*, 19(3), 517-534.
- Reed, T. (1974). Corporate Learning Reed. *Science Teacher*, 41(4), 35-36.
- Reynolds, R. (1984). New Window on the Universe. *Science Teacher*, 51(7), 45-48.
- Rene, A. (1973). Future Space Activities Berglund. *Science Teacher*, 40(3), 42-44.

- Robert, E. (1973). Remote Sensing of Earth--A New Perspective Boyer. *Science Teacher*, 40(7), 32-39.
- Ruzicka, M. (1979). This School Is Building a Space Science Center? *Science Teacher*, 46(7), 27-29.
- Sánchez, J., Sevilla, F., Blanco, J. y Ortega, B. (1989). Del punto al vector en el espacio: material didáctico para alumnos ciegos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 2(5) 401- 407. Extra: III Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias
- Sinarcas, V. y Jordi S. (2013). Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la Física Cuántica en el bachillerato. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 31(3), 9-25.
- Solaz, J. (2000). Aproximación a las ideas de los estudiantes en torno al concepto de espacio vacío. *Revista de Enseñanza de la Física*, 13(1), 23-34.
- Solís, E. y Porlán, R. (2003). Las concepciones del profesorado de Ciencias de Secundaria en Formación Inicial ¿Obstáculo o punto de partida?, *Investigación en la Escuela*, 49, 5-22.
- Suárez, C. (2016). *La Tierra y el Universo: Evolución de las ideas del alumnado tras el proceso de enseñanza-aprendizaje*. Trabajo de grado. Universidad de Sevilla.
- Steier, R., & Kersting, M. (2019). Metaimagining and Embodied Conceptions of Spacetime, *Cognition and Instruction*, 37(2), 145-168. 10.1080/07370008.2019.1580711.
- Vasco U., C. (2017). Geometría activa y geometría de las transformaciones. *TED: Tecné, Episteme y Didaxis*, 0(2). 57- 62. 10.17227/ted.num2-5706
- Wagner J., Rocha, A., & Quézia F. (2014). Enem, temas estruturadores e conceitos unificadores no ensino de física. *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc.*, 16(3), 171- 188. 10.1590/1983-21172014160308
- Wagner, J., Angotti, J., & Bastos, F. (2016). Ensino de Física por meio de questões do PISA associadas a Temas Estruturadores e Conceitos Unificadores. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33, 333-354. 10.5007/2175-7941.2016v33n2p333