

Sitios web educativos para enseñar la dinámica relativista en el nivel secundario y universitario

Richard González¹³, María Rita Otero¹², Marcelo Arlego¹²

fisicarichardg@gmail.com , rotero@exa.unicen.edu.ar , marlego@exa.unicen.edu.ar

¹ Núcleo de Investigación en Educación en Ciencia y Tecnología (NIECyT). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN).

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

³ Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), Uruguay.

Resumen

Esta investigación realiza una revisión del enfoque adoptado para enseñar la dinámica relativista por distintos sitios y páginas webs educativas orientadas al nivel secundario y universitario. Las webs se analizan por medio de una categorización inductiva, que tiene variables relativamente similares a las que resultan de un análisis de los libros escolares utilizados para enseñar la TER (González, et. al., 2022). El trabajo evidencia que las webs desarrolladas por instituciones de educación formal tales como ministerios de educación o universidades, poseen un enfoque similar a los libros de texto, es decir que trasladan el saber de los libros hacia las webs. Por otro lado, en los sitios web orientados a la enseñanza secundaria, la vía principal a la dinámica relativista es el concepto de masa y energía, partiendo de cuestionar las leyes de Newton, mientras que en las webs universitarias se parte del concepto de momentum y de las leyes de conservación. El trabajo formula algunas consideraciones didácticas sobre la enseñanza de la dinámica relativista en la escuela.

Palabras clave: Dinámica relativista; Sitios web; Enseñanza de la Teoría Especial de la Relatividad; Textualización

Educational websites to teach relativistic dynamics at the high school and university level

This research reviews the approach adopted to teach relativistic dynamics by different educational websites aimed at secondary and university levels. The websites are analyzed through an inductive categorization, which has variables relatively similar to those resulting from an analysis of the school textbooks used to teach TER (González et al., 2022). This research shows that websites developed by formal education institutions such as ministries of education or universities have a similar focus to textbooks, meaning they transfer knowledge from books to the web. On the other hand, in websites oriented toward secondary education, the primary way to relativistic dynamics is the concept of mass and energy, starting by questioning Newton's laws, while university websites begin with the concept of momentum and conservation laws. This research formulates some didactic considerations regarding the teaching of relativistic dynamics in schools.

Keywords: Relativistic dynamics; Websites; Teaching of the Special Theory of Relativity; Textualization.

Sites Web éducatifs pour enseigner la dynamique relativiste au niveau secondaire et universitaire

Cette recherche examine l'approche adoptée pour enseigner la dynamique relativiste sur différents sites web éducatifs destinés aux niveaux secondaire et universitaire. Les sites web sont analysés au moyen d'une catégorisation inductive, qui présente des variables relativement similaires à celles résultant d'une analyse des manuels scolaires utilisés pour enseigner la TER (González et al., 2022). Le travail montre que les sites web développés par des institutions d'éducation formelle telles que les ministères de l'éducation ou les universités ont une approche similaire à celle des manuels, c'est-à-dire qu'ils transfèrent les connaissances des livres vers le web. D'autre part, sur les sites web orientés

vers l'enseignement secondaire, la principale approche de la dynamique relativiste est le concept de masse et d'énergie, en remettant en question les lois de Newton, tandis que sur les sites web universitaires, on part du concept de quantité de mouvement et des lois de conservation. Le travail formule quelques considérations didactiques concernant l'enseignement de la dynamique relativiste à l'école.

Mots clés : Dynamique relativiste ; Sites web ; Enseignement de la théorie de la relativité restreinte ; Textualisation

1. INTRODUCCIÓN

A principios del siglo XX, la Teoría Especial de la Relatividad (TER) introduce varios cambios en la conceptualización de las nociones fundamentales de la Física, como el espacio, el tiempo, la energía y la masa. Si bien ha pasado más de un siglo, la transposición didáctica (Chevallard, 1985) desde el saber académico al saber enseñado en la escuela no ocurre, es decir que aun cuando algunas propuestas curriculares incluyen a dichos saberes, no son difundidos en la escuela secundaria y esto es un reto persistente para los investigadores en enseñanza de las ciencias (Treagust, 2021). Es muy ocasional que se enseñe la física einsteiniana en el nivel secundario (Pitts et al., 2014), sin embargo, la ecuación más famosa del siglo XX $E=mc^2$, no es parte del plan de estudios (Kneubil, 2020). En este sentido, cada vez existe más conciencia de la importancia y necesidad de desarrollar recursos didácticos para enseñar estos temas vinculados con la nanotecnología, las nociones cuánticas y la relatividad, que están comenzando a integrar los planes de estudios de ciencias (Antti, 2010; Ayene et al., 2019; Boubil y Blair, 2023; Hoehn et al., 2014; Kersting y Blair, 2021; Pitts et al., 2014).

Las investigaciones relativamente recientes sobre el aprendizaje de la TER están principalmente centradas en el aprendizaje de la cinemática relativista en estudiantes de secundaria y universidad (Arriasecq, 2008; De Hosson, et al., 2010; Dimitriadi, et al., 2012; Gil y Solbes, 1993; Muñoz, 2020; Otero, et al., 2016; Otero y Arlego, 2016; Pérez y Solbes, 2003, 2006; Prodanoff, 2015; Selçuk, 2011; Scherr, 2007). Aunque en menor cantidad que los anteriores, también se encuentran trabajos orientados a la enseñanza de la dinámica relativista en la universidad y la escuela secundaria (Doménech et al., 1993; Galili y Kaplan, 1997; Kersting y Blair, 2021; Okun, 1989; Pérez y Solbes, 2003, 2006; Riggs, 2016; Selçuk, 2011; Tefft y Tefft, 2007). Si bien es grande el esfuerzo por introducir estos tópicos en la escuela secundaria, los estudiantes siguen sin comprender el significado, el origen y la utilidad de una de las ecuaciones más famosas de la Física y difundida socialmente: $E=mc^2$ (Treagust, 2021, Boubil et al., 2023).

En este trabajo se profundiza el análisis ya realizado del proceso de textualización de la dinámica relativista (González et al., 2022), incorporando el análisis de los sitios webs. La situación pandémica mundial iniciada en 2020, incrementó y aceleró el papel de la digitalización en la vida cotidiana, y el advenimiento de la denominada "sociedad digital" (Mossberger et al., 2007) que resulta del uso efectivo y regular del medio online para participar activamente de una ciudadanía digital. En este estudio se consideran sitios de uso libre, que además de la libre disponibilidad se caracterizan

por la realización de un gran trabajo de diseño y programación.

2. ANTECEDENTES

Investigaciones en enseñanza de la dinámica relativista

A continuación, se detallan algunos resultados de investigaciones vinculadas a la enseñanza de la dinámica relativista. En primer lugar, Tefft y Tefft (2007) destacan la importancia de estudiar la relatividad de Galileo junto con los aspectos dinámicos, antes de introducir la dinámica relativista, esto es análogo a lo que ocurre con la cinemática relativista. Por otro lado, Galili y Kaplan (1997) sugieren que los estudiantes pueden comprender mejor los problemas de conservación del momentum y energía cuando se tratan desde distintos marcos de referencia, ya que hacen explícitas las interacciones y sistemas de referencia involucrados. En ese sentido, Riggs (2016) enfatiza la importancia de explicitar las principales diferencias entre el momentum y la energía desde el punto de vista de la TER y de la relatividad de Galileo, incluso abogan por el uso de analogías entre las expresiones de energía cinética y momentum para ambas teorías.

Con respecto al concepto de energía, Kneubil (2019) plantea que la ecuación más famosa de la Física $E=mc^2$, es comúnmente tratada por docentes y libros de texto como una herramienta de conversión entre la masa y la energía, perdiéndose de este modo, el gran alcance de esta ecuación. Este autor muestra mediante el estudio de reacciones que el 99% del peso de los protones y neutrones deriva de la energía cinética y la energía potencial, de esta forma propone que este análisis se haga en el aula con el fin de evidenciar el gran poder explicativo de la dinámica relativista.

Además de los conceptos de energía y momentum, el concepto de masa es central en la dinámica relativista, y existen varios trabajos que abordan este tema. En el estudio realizado por Doménech et al. (1993) se evidencia que los estudiantes utilizan el concepto de masa de manera diferente según el contexto en el que se encuentren (cantidad de materia, conservación de la masa, masa dependiente de la velocidad, etc). Por su parte, Pérez y Solbes (2003) argumentan que la noción de masa dependiente de la velocidad no es adecuada, ya que centra la atención en la partícula y no en las modificaciones del espacio y el tiempo, mientras que la masa como cantidad de materia trae dificultades para identificar la masa en un sistema inmaterial como por ejemplo en un par de fotones. El concepto de masa relativista fue ampliamente criticado por Okun (1989) entre otros, porque genera dificultades con el concepto de densidad (Selçuk, 2011), confusiones con masas transversales y

longitudinales (Perez y Solbes, 2006), además de que ignora las propiedades intrínsecas del espacio-tiempo (Whitaker, 1976). En este sentido, la discusión acerca de la masa relativista o masa en reposo parece estar cerrándose y la mayoría de los libros de texto usan la masa invariante que coincide con la masa en reposo (Pérez y Solbes, 2003; Prado et al., 2020). Asimismo, un estudio realizado por Kneubil (2020) afirma que las principales dificultades de los docentes a la hora de enseñar la masa en el contexto de la relatividad son principalmente epistemológicas y no tanto didácticas. Así, cuando se aborda este concepto, en muchos docentes priman las ideas de inconmensurabilidad entre la mecánica de Newton y la TER, y se habla de distinta masa, pero empleando el mismo símbolo, lo cual genera dificultades en los aprendizajes de los estudiantes.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Los libros de texto y los sitios web en los procesos transpositivos

La textualización es un elemento central en el proceso de transposición didáctica (Chevallard, 1985). En un sentido amplio, la textualización se produce con independencia del soporte en el cual se difunden los recursos, en la sociedad digital, tanto estudiantes como docentes, utilizan con frecuencia los sitios webs educativos para enseñar y aprender en la escuela. A pesar de esto, los fenómenos y efectos transpositivos no son evidentes para los comunicadores de la ciencia a todo nivel, ni para los autores de los libros y las webs, ni para los usuarios tales como docentes y estudiantes. La transposición ocurre porque hay al menos dos formas distintas y no superponibles del funcionamiento del saber: la del saber erudito y la del saber escolar (Chevallard, 1985).

Al reconocer la existencia de la transposición, para estudiar la difusión o comunicación del saber, que incluye las características que este debería o podría tener para que sea enseñable, enseñado y aprendido, el didacta debe realizar una doble ruptura y distanciarse tanto del saber académico como del saber escolar. Que sea enseñable remite a una condición que metafóricamente puede denominarse ecológica, ya que, el saber debe sobrevivir y adaptarse en la institución en la cual es enseñado.

Debido a la considerable incidencia en el saber enseñado, resulta importante analizar la textualización sobre la TER en los sitios web y las transformaciones del conocimiento que esto produce. En este trabajo se analiza el proceso transpositivo que tiene lugar cuando se utilizan sitios web disponibles para estudiantes de nivel secundario y universitario básico para enseñar la dinámica relativista.

3.2 Análisis de los libros de texto

En una investigación previa realizada por González, Otero y Arlego (2022), se analizó la textualización sobre la

dinámica relativista en los libros más utilizados en la escuela secundaria y en los cursos introductorios de la universidad. Los resultados muestran que los libros universitarios abordan la dinámica relativista a partir del concepto de momentum, a diferencia de los textos para el nivel secundario que priorizan más la masa o la energía de forma equitativa, ya que el concepto de momentum no suele enseñarse en este contexto. Además, casi tres cuartas partes de los libros universitarios realizan un análisis basado en el estudio de colisiones, mientras que solo la cuarta parte de los libros de secundaria lo hace de este modo. Con respecto al uso de imágenes y al papel otorgado a la evidencia experimental entre los libros universitarios y los de secundaria no se encontraron diferencias. Los textos para el nivel medio, mayoritariamente presentan la dinámica relativista de manera narrativa y sin referencias a sus aplicaciones más destacadas.

4. METODOLOGÍA

4.1. Preguntas de investigación

El objetivo general de este trabajo es analizar las transformaciones de conocimiento propuestas en los sitios web educativos relativos a la dinámica relativista y cómo se proponen dichos conocimientos. Para esto se formulan las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuál es el saber propuesto en los sitios web orientados a la enseñanza de la dinámica relativista en la escuela secundaria y la universidad?
2. ¿Cuáles son las diferencias y similitudes entre el saber propuesto por las webs desarrolladas por instituciones (universidades y ministerios de educación) y las de autores individuales?
3. ¿Qué similitudes y diferencias existen con respecto al saber que se encuentra en los libros de texto?
4. ¿Cuáles son las implicaciones para la enseñanza de la dinámica relativista?

4.2. Metodología

Se analizan las secciones de dinámica relativista de 15 sitios webs educativos seleccionados por muestreo intencional (ver Tabla 2 en Anexo). Entre las opciones que arrojaban los buscadores, se seleccionaron solo aquellos que podrían emplearse para enseñar la dinámica relativista a nivel secundario y universitario.

A partir de los sitios analizados, se realiza una categorización inductiva que genera un conjunto de metacategorías y subcategorías como variables nominales con sus respectivas modalidades, que se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables con sus modalidades.

Características generales	
1- Nivel educativo	1-1 Secundaria
	1-2 Universidad
2- Tipo de recurso	2-1 Páginas web
	2-2 Sitios web
3- Autoría	3-1 Responsabilidad de instituciones educativas
	3-2 Autores individuales
	3-3 Autores anónimos
4- Navegabilidad	4-1 Navegación atractiva
	4-2 Desordenado
5- Uso de imágenes	5-1 Tradicional
	5-2 Introductorio
	5-3 Imagístico
6- Uso de simulaciones	6-1 Centrado en el uso de simulaciones
	6-2 Uso complementario de simulaciones
	6-3 No se utilizan simulaciones
7- Uso de videos	7-1 Centrado en el uso de videos
	7-2 No se utilizan videos
Transformaciones del saber	
8- Conceptos introductorios a la dinámica relativista	8-1 Masa
	8-2 Momentum
	8-3 Energía
9- Cuestionamiento de la dinámica clásica	9-1 Inconsistencias de las leyes de conservación a altas velocidades
	9-2 No es válida la segunda ley de Newton a altas velocidades
	9-3 No cuestionan la dinámica clásica
10- Estudio de colisiones	10-1 Colisiones unidimensionales
	10-2 Colisiones bidimensionales
	10-3 No estudian colisiones
11- Evidencia experimental	11-1 No exponen evidencia experimental
	11-2 Poca evidencia experimental
	11-3 Mucha evidencia experimental
12- Implicaciones	12-1 Investigación científica
	12-2 Cotidiano
	12-3 Ambos tipos de implicaciones
Conceptos modificados por la TER y su tratamiento en el site	
13- Momentum	13-1 Inconsistencias con las leyes de conservación
	13-2 Inconsistencias con la segunda ley de Newton
	13-3 No adjudica importancia al Momentum
	13-4 Consecuencias del cambio en el concepto de Energía
	13-5 Postulan y citan a Einstein
	13-6 Consecuencias del cambio en el concepto de Masa
14- Masa	14-1 Inconsistencias con las leyes de conservación
	14-2 Inconsistencias con la segunda ley de Newton
	14-3 Consecuencias del cambio en el concepto de Energía
	14-4 Consecuencias del cambio en el concepto de Momentum
	14-5 Postulan que la masa aumenta con la velocidad
15- Energía	15-1 Consecuencias del cambio en el concepto de Masa
	15-2 Postulan y citan a Einstein
	15-3 Inconsistencias con las leyes de conservación
	15-4 Consecuencias del cambio en el concepto de Momentum
	15-5 No adjudica importancia a la Energía

4.3 Descripción de las variables nominales

Características generales:

1- *Nivel Educativo.* Se refiere al nivel educativo para el que está dirigido el sitio web.
1-1 Secundaria.

1-2 Universidad.

2- *Tipo de recurso.* Se distingue entre páginas web y sitios webs.

2-1 Páginas web. Son documentos de texto desde los cuales se referencian un conjunto de recursos digitales, que pueden ser imágenes, animaciones, videos, simulaciones, documentos, otras páginas, etc. (Biber, et. al., 2021)

2-2 Sitios web. Son un conjunto de páginas web enlazadas entre sí y con una URL en común (Biber, et. al., 2021).

3- *Autoría*. Se refiere al tipo de autor o responsable del contenido.

3-1 Responsabilidad de instituciones educativas. Se refiere a sitios correspondientes a Ministerios de educación, a Universidades e instituciones educativas públicas o privadas.

3-2 Autores individuales. Sitos donde el responsable o los responsables son autores que no explicitan a qué institución están asociados, o se autodenominan como “independientes”.

3-3 Autores anónimos. Se desconoce la identidad de los autores de estas webs.

4- *Navegabilidad*. Esta variable se refiere a las facilidades de navegación que presentan las webs.

4-1 Navegación atractiva. Son sitios cuya estructura permite una navegación fluida que usa índices y/o buscadores, logrando que sea intuitiva y atractiva para el usuario.

4-2 Desordenado. Son sitios donde la navegación es poco intuitiva, donde la información se presenta de manera desordenada y no cuentan con índices o buscadores.

5- *Uso de imágenes*. Se refiere al uso de las imágenes que hacen los sitios para la enseñanza de la dinámica relativista.

5-1 Tradicional. Se trata de sitios donde predomina el uso de la comunicación escrita y se utiliza de manera escasa el recurso de la imagen.

5-2 Introductorio. Los sitios ubicados en esta modalidad son aquellos que usan las imágenes para introducir el tema y como un complemento de los argumentos que se plantean en el texto escrito.

5-3 Imagístico. Son sitios donde se espera que los estudiantes aprendan directamente conceptos a partir de las imágenes que se muestran (Otero et al. 2002). Por ejemplo, en la Figura 1 se muestra un sitio que pretende enseñar que la masa aumenta con la velocidad mediante el uso de una imagen. En el ejemplo de la Figura 2 se pretende enseñar las principales diferencias entre la fisión y la fusión nuclear, así como la conservación de la masa-energía en la dinámica relativista.



Figura 1 – Aumento de la masa con la velocidad (extraído de proyectodescartes.org, Emeterio y Rivera, 2016, p.26).

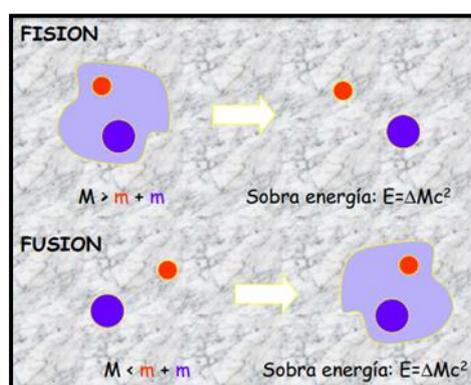


Figura 2 – Diferencias entre fisión y fusión nuclear (extraído de www.educ.ar, 2018).

6- *Uso de simulaciones*. Se refiere al uso de simulaciones para la enseñanza de la dinámica relativista en los sitios web.

6-1 Centrado en el uso de simulaciones. Son sitios que se basan en el uso de simulaciones para la enseñanza de los conceptos en la dinámica relativista. Uno de los sitios realiza el estudio de colisiones bidimensionales mediante simulaciones y las emplea para las demostraciones principales. Por ejemplo, otro de los sitios realiza un uso más aplicado a situaciones típicas de energía nuclear y térmica.

6-2 Uso complementario de simulaciones. En este tipo de sitios, las simulaciones tienen un rol secundario a la

presentación de los contenidos y son complementarias para la enseñanza de la dinámica relativista. Una de ellas realiza una representación gráfica del cuadrivector energía-momento de forma similar a una imagen, pero de manera interactiva.

6-3 No se utilizan simulaciones. Son sitios que no presentan ninguna simulación en su entorno.

7- *Uso de videos*. Se refiere al uso de explicaciones en video que hacen los sitios para la enseñanza de la dinámica relativista.

7-1 Centrado en el uso de videos. Se trata de sitios que utilizan videos explicativos como la forma principal de abordar la dinámica relativista. El uso de este recurso es

central en el entorno de aprendizaje y basan todo el resto de los recursos en torno a los videos. En general, en estos videos se muestran clases expositivas dictadas por docentes.

7-2 No se utilizan videos. Son sitios que no incorporan videos en su entorno.

Transformaciones del saber:

8- *Conceptos introductorios a la dinámica relativista.*

Se refiere al concepto central de la dinámica clásica que es modificado para introducir la dinámica relativista.

8-1 Masa. Sitios que fundamentan la transición clásico-relativista en la necesidad de modificar el concepto de masa, y a partir de esto, derivan el resto de las diferencias entre la dinámica relativista y la dinámica clásica.

8-2 Momentum. Sitios que fundamentan la transición clásico-relativista en la necesidad de modificar el concepto de momentum, y a partir de esta modificación deducen o justifican el resto de los cambios que introduce la TER con respecto a la dinámica clásica.

8-3 Energía. Sitios que fundamentan la transición clásico-relativista revisando el concepto de energía como punto de partida, y luego analizan las posteriores implicaciones a la dinámica relativista.

9- *Cuestionamiento de la dinámica clásica.* Se refiere a los principales motivos para cuestionar la dinámica clásica y así introducir la dinámica relativista.

9-1 Inconsistencias de las leyes de conservación a altas velocidades. Son sitios que fundamentan la transición clásico-relativista en el hecho de que, a altas velocidades en relación con la velocidad de la luz, no se cumplen las leyes de conservación (siempre en este contexto). Ciertos casos se enfocan más en la conservación del momentum, y otros en la conservación de la masa-energía.

9-2 No es válida la segunda ley de Newton a altas velocidades. Son sitios que justifican la necesidad de

una revisión de la dinámica clásica, ya que a altas velocidades en relación con la velocidad de la luz no se cumple la segunda ley de Newton. En algunos casos se exponen resultados experimentales, y en otros experimentos mentales para su análisis.

9-3 No cuestionan la dinámica clásica. Se trata de sitios que no dan ningún motivo y no hacen ningún tipo de comparación con la física clásica.

10- *Estudio de colisiones.* Se analiza si los sitios estudian colisiones para sus explicaciones.

10-1 Colisiones unidimensionales. Sitios que estudian colisiones unidimensionales entre partículas desde distintos sistemas de referencia para sus demostraciones.

10-2 Colisiones bidimensionales. Sitios que abordan las colisiones elásticas bidimensionales entre partículas desde distintos sistemas de referencia para sus demostraciones.

10-3 No estudian colisiones. Sitios que no estudian las colisiones entre partículas.

11- *Evidencia experimental.* Importancia adjudicada a los experimentos en la fundamentación de la dinámica relativista.

11-1 No exponen evidencia experimental. Los sitios incluidos en esta modalidad no exponen evidencia experimental para “convencer” al lector de las consecuencias de la dinámica relativista.

11-2 Poca evidencia experimental. Son sitios que le adjudican una importancia moderada a los experimentos. En su mayoría exponen resultados experimentales para “convencer” al lector, pero sin citar las fuentes de los experimentos, o sin mostrar datos de estos. Un ejemplo se muestra en la Figura 3, donde se presenta un gráfico de momentum relativista en función de la velocidad del objeto sin explicitar el origen de dichos resultados.

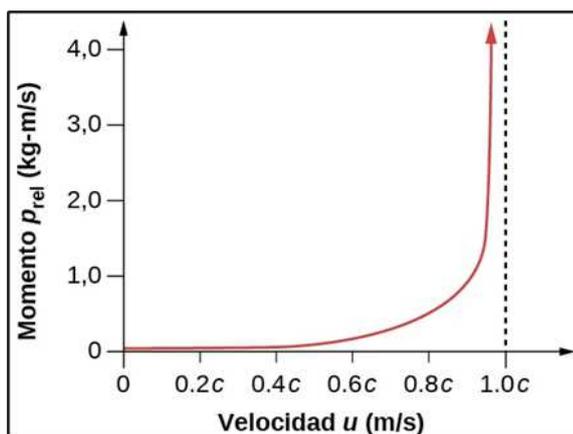


Figura 3 – Momentum relativista en función de la velocidad (extraído de openstax.org, s.f., p.5.8)

11-3 Mucha evidencia experimental. Sitios que justifican por intermedio de los experimentos las principales consecuencias de la dinámica relativista, citando las fuentes de los experimentos y/o mostrando gráficos y datos reales de los mismos.

12- *Implicaciones.* Se refiere a la relevancia adjudicada a las implicaciones y consecuencias de la dinámica relativista.

12-1 Investigación científica. Sitios que muestran la relevancia de la dinámica relativista asociada a la investigación científica, por ejemplo: la creación y desintegración de pares, investigaciones en aceleradores de partículas, etc.

12-2 Cotidiano. Sitios que muestran la importancia de la dinámica relativista para las explicaciones de lo cotidiano y hacen el esfuerzo por “acercar” al lector ejemplos conocidos como los reactores nucleares, la

bomba atómica, la fusión nuclear en el sol, etc. Se muestra un ejemplo de esto en la Figura 4.

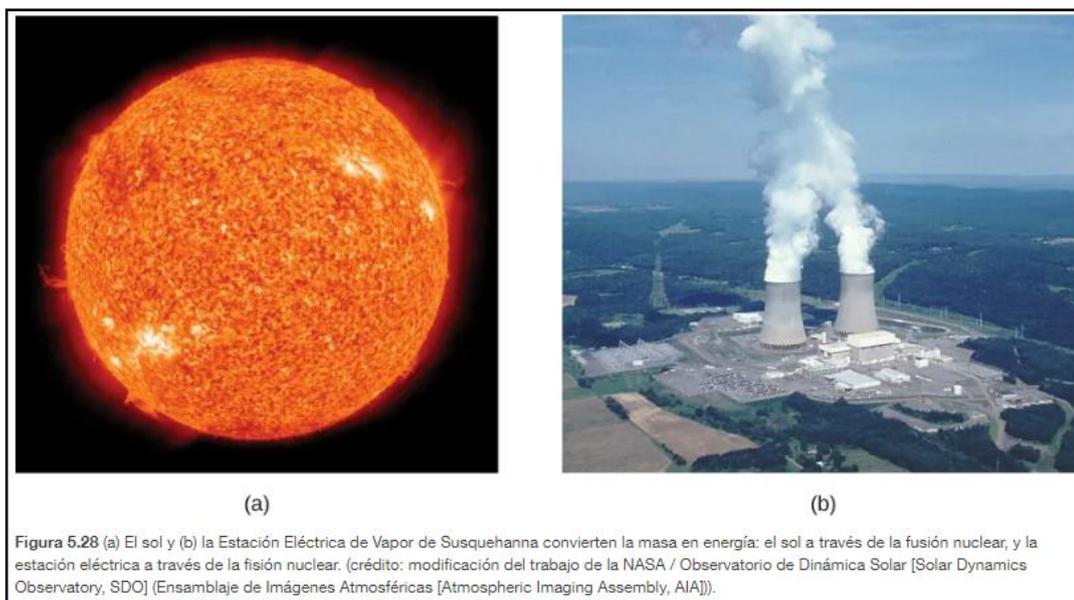


Figura 4. Ejemplos “cotidianos” de la dinámica relativista (extraído de openstax.org, s.f., p.5.9)

12-3 Ambos tipos de implicaciones. Los sitios incluidos en esta modalidad exponen la importancia de lo cotidiano, así como también de la investigación científica de manera equitativa.

Conceptos modificados por la TER y sus razones:

13- *Momentum.* Razones para revisar el concepto de momentum cuando se aborda la dinámica relativista.

13-1 Inconsistencias con las leyes de conservación. Sitios que sostienen la necesidad de modificar el concepto clásico de momentum, debido a que éste no es compatible con las leyes de conservación a altas velocidades, y con la adición de velocidades relativista. En algunos casos se estudian colisiones elásticas bidimensionales para mostrar estas inconsistencias, y en otros se analizan colisiones unidimensionales con los mismos fines, en ocasiones elásticos y en otras inelásticos, incluso en otros casos se explica dicha incompatibilidad sin estudiar las colisiones.

13-2 Inconsistencias con la segunda ley de Newton. En este caso se sostiene que es necesario un cambio en el concepto de momentum clásico, ya que a altas velocidades la segunda ley de Newton deja de ser válida. En algunos casos plantean el experimento mental de una partícula sometida a una fuerza constante durante un tiempo elevado, la cual lleva a un incremento de la velocidad indefinido (incluso superando c) violando así el segundo postulado de la TER. En otros casos se expone la evidencia empírica de que la velocidad de la luz es un límite máximo, explicando que esto no es consistente con la segunda ley de Newton a altas velocidades.

13-3 No adjudica importancia al Momentum. Son sitios en los cuales directamente no se aborda el concepto de momentum.

13-4 Consecuencias del cambio en el concepto de Energía. Este tipo de sitios muestran que es necesario un cambio en el concepto de momentum en la TER, ya que si existe una modificación en la noción de energía

con la ecuación $E=mc^2$, es probable que otra de las magnitudes dinámicas importantes deba ser modificada en la TER, por ejemplo, el momentum.

13-5 Postulan y citan a Einstein. Definen desde el comienzo el momentum de forma relativista citando los trabajos de Einstein, y trabaja en la sección de mecánica clásica con la aproximación a bajas velocidades.

13-6 Consecuencias del cambio en el concepto de Masa. Se trata de sitios que argumentan que el momentum clásico debe ser revisado porque hay un cambio en el concepto de masa, factor clave para el momentum.

14- *Masa.* Razones para la revisión del concepto de masa en la dinámica relativista.

14-1 Inconsistencias con las leyes de conservación. Estos sitios afirman que es necesario revisar el concepto de masa para que se cumplan las leyes de conservación a altas velocidades. Incluso en ocasiones se obtiene la ecuación de la masa relativista aplicando las leyes de conservación a una colisión bidimensional.

14-2 Inconsistencias con la segunda ley de Newton. Los sitios incluidos en esta modalidad justifican la revisión del concepto de masa mediante el siguiente contraejemplo: si aceleramos un cuerpo constantemente (debido a una fuerza constante) éste debe acelerar infinitamente según la segunda ley de Newton, como esto último no se observa, se argumenta que la masa debe estar aumentando a medida que el objeto se acelera con el fin de no sobrepasar la velocidad de la luz.

14-3 Consecuencias del cambio en el concepto de Energía. Estos sitios plantean que la revisión del concepto de masa se debe a la modificación en la TER del concepto de energía por la ecuación $E=mc^2$.

14-4 Consecuencias del cambio en el concepto de Momentum. Son sitios que tienen como punto de partida el cambio en el concepto de momentum, donde la inclusión del factor gamma lleva a una revisión del concepto de masa.

14-5 Postulan que la masa aumenta con la velocidad. Se trata de sitios que postulan sin ningún tipo de argumento

que la masa aumenta a medida que la velocidad del objeto aumenta.

15- *Energía*. Razones para revisar el concepto de Energía en la dinámica relativista.

15-1 Consecuencias del cambio en el concepto de Masa. Sitios que sostienen que existe un cambio en el concepto de energía debido a su relación con la masa, en particular por la relación $E=mc^2$.

15-2 Postulan y citan a Einstein. Sitios que citan el trabajo de Einstein y directamente asumen la ecuación $E=mc^2$ para luego interpretarla y aplicarla.

15-3 Inconsistencias con las leyes de conservación. Sitios que revisan el concepto de energía ya que se evidencian inconsistencias en las leyes de conservación cuando se utiliza la noción clásica de energía cinética en colisiones.

15-4 Consecuencias del cambio en el concepto de Momentum. Sitios que deducen la energía cinética relativista, y posteriormente la ecuación $E=mc^2$, aplicando el teorema del trabajo y la energía cinética junto con el concepto de momentum relativista.

15-5 No adjudica importancia a la energía. Sitios que no dan importancia al concepto de energía en la dinámica relativista y no lo abordan.

5. ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

Los sitios se analizan en según el nivel educativo y luego según su autoría. Además, se consideran los conceptos que los sitios analizados utilizan para introducir la dinámica relativista. Finalmente, se consideran los resultados obtenidos por González, Otero y Arlego (2022) para los libros escolares y los correspondientes a las webs.

5.1. Análisis según el nivel educativo

Considerando los sitios para el nivel secundario y el universitario y según el tipo de recurso, se advierte que aproximadamente la mitad son sitios web y la otra mitad, páginas web, independientemente del nivel educativo al que están dirigidos. Entre todos los sitios revisados, aproximadamente la mitad de ellos se encuentran bajo la responsabilidad de instituciones de educación formal. En el caso de los sitios para la universidad, la mitad restante corresponde a autores individuales. Por su parte la cuarta parte de los sitios para secundaria no declara los autores y no ofrecen referencias bibliográficas sobre los contenidos que proponen, mientras que la cuarta parte restante corresponde a autores individuales. Los sitios más atractivos y donde la información se presenta de manera más ordenada, son los dirigidos a la universidad, mientras que la mitad de los sitios para secundaria son desordenados y su navegación es poco atractiva.

Con respecto al uso de los recursos audiovisuales, en ambos niveles educativos los sitios son similares: mayoritariamente usan las imágenes de manera tradicional, predomina el texto escrito, y no emplean simulaciones, con excepción de un sitio para la universidad y dos para la escuela secundaria. Esto también sucede con el uso de videos, ya que la amplia mayoría de los sitios no utilizan este recurso.

Si se analizan los conceptos introductorios para la dinámica relativista, la Figura 5 muestra que los sitios para la universidad comienzan equitativamente por el concepto de masa y el de momentum, mientras que ninguno de ellos comienza por el concepto de energía. Por otro lado, los sitios para secundaria introducen la dinámica relativista mediante el concepto de masa y energía equitativamente, y una ínfima cantidad lo realiza mediante el concepto de momentum.



Figura 5. Concepto introductorio a la dinámica relativista según el nivel educativo.

Por otro lado, más de la mitad de los sitios para la universidad sostienen la necesidad de revisar la dinámica clásica porque ésta no es compatible con las leyes de conservación a altas velocidades. De manera diferente, los sitios orientados a la escuela secundaria toman como argumento principal para la revisión de la dinámica clásica, el hecho de que la segunda ley de Newton no es válida en el límite relativista. También se encuentra que la cuarta parte de los sitios para secundaria no ofrece razones para la introducción de la dinámica relativista, ni tampoco la distinguen de la dinámica clásica.

Respecto al análisis de colisiones, ningún sitio para secundaria utiliza este recurso para sus explicaciones, a diferencia de los sitios para la universidad, ya que casi la mitad de ellos si lo hace, con preponderancia de las colisiones bidimensionales. Asimismo, independientemente del nivel educativo, en la amplia mayoría de los sitios no se hace referencia a la evidencia experimental para “convencer” al lector de la dinámica relativista, y los ejemplos que se muestran en su mayoría están asociados a la investigación científica dejando de lado las aplicaciones a la vida social más interesantes o reconocibles por el lector.

Al analizar cómo la TER modifica los conceptos clásicos y las razones esgrimidas, se obtiene que para el momentum, los sitios para la universidad dan razones significativamente distintas según el nivel educativo al que se orientan. En el caso de los sitios para la universidad, se argumenta que el momentum relativista cambia como consecuencia del cambio en el concepto de masa, o porque a altas velocidades ya no se conserva el momentum clásico. Por otro lado, la amplia mayoría de los sitios para secundaria, no le adjudican importancia al concepto de momentum ni lo abordan.

Para el concepto de masa, tanto los sitios para la universidad y secundaria adoptan un criterio similar y aproximadamente la mitad postulan el cambio en el concepto de masa en la TER. Sin embargo, en la mitad de los sitios para la universidad se sostiene que el cambio

en el concepto de masa se debe a que, en la TER, cambia el concepto de momentum.

Considerando la energía, casi la mitad de los sitios citan el trabajo de Einstein y postulan la ecuación que introduce la energía relativista, más allá del nivel educativo al que el sitio web se orienta. Por su parte, casi la mitad de los sitios para la universidad introducen la energía relativista como consecuencia en el cambio del concepto de masa. En menor medida, una cuarta parte de los sitios para secundaria dan el mismo argumento, y en un solo caso la energía relativista no se menciona.

5.2. Análisis según la autoría

Si se comparan los sitios de distintos autores según el tipo de recurso, casi tres cuartas partes de las webs institucionales son sitios conformados por un conjunto de páginas, mientras que más de la mitad de los sitios que provienen de autores individuales, tienen un formato de páginas web. Todos los sitios que no tienen referencia de autores adoptan un formato de páginas web. Asimismo, los sitios web respaldados por instituciones educativas y los de autores individuales, son mayoritariamente ordenados y atractivos, mientras que los que no refieren a sus autores son desordenados para su navegación.

Respecto a la utilización de recursos audiovisuales, en todos los casos la mayoría realiza un uso tradicional de las imágenes, sin embargo, un tercio de los sitios de autores individuales las utilizan de forma introductoria a la temática, y en casi la mitad de los sitios de instituciones lo hace de manera imágística. Ningún sitio de autores individuales y anónimos realiza uso de videos ni simulaciones, y sólo en los sitios de instituciones educativas se utilizan estos recursos, aunque para ambos recursos no se supera la tercera parte de estos sitios.

Si se analizan los conceptos centrales para la dinámica relativista, se puede notar que en tres cuartas partes los sitios desarrollados por instituciones educativas, predomina el concepto de momentum para introducir la dinámica relativista. Sin embargo, los sitios de autores individuales y anónimos no proponen en absoluto el concepto de momentum como puerta de ingreso a la dinámica relativista, sino que predominan el concepto de masa y el concepto de energía.

Por su parte, la mayoría de los sitios desarrollados por instituciones educativas, cuestionan la dinámica clásica basados en que las leyes de conservación no se cumplen a altas velocidades. En este sentido, los sitios de autores individuales tienen un comportamiento distinto e introducen la dinámica relativista sobre la base de la

invalidez de la segunda ley de Newton a altas velocidades. La mitad de los sitios que carecen de autores y referencias no problematizan la dinámica clásica para introducir la relatividad.

Respecto a las implicaciones de la dinámica relativista, todos los sitios de autores individuales y anónimos muestran ejemplos asociados a la investigación científica. Sólo en tres sitios desarrollados por instituciones educativas se exponen ejemplos de aplicación que podrían ser conocidos por el lector. Lo mismo ocurre con la importancia atribuida a la evidencia experimental, donde los sitios que menos importancia le atribuyen a esto son los desarrollados por autores individuales y anónimos.

Analizando los conceptos modificados por la TER y las razones esgrimidas, se pueden notar ciertas diferencias según el tipo de autor. Por ejemplo, la principal razón que utilizan los sitios institucionales para revisar el concepto de momentum es que, a altas velocidades no se cumplen las leyes de conservación si utilizamos el concepto clásico de momentum. Sin embargo, la gran mayoría de los sitios de autores individuales argumentan la necesidad de modificar el concepto de momentum como consecuencia del cambio en el concepto de masa. Ninguno de los sitios de autores anónimos adjudica importancia al momentum, y es un tópico que no es tratado allí.

Para el concepto de masa, la mitad de los sitios con independencia de su autoría, postulan que la masa debe aumentar con la velocidad. Asimismo, la restante mitad de los sitios desarrollados por instituciones educativas argumentan que el cambio en el concepto de masa es debido a la modificación en el momentum.

Finalmente, para introducir el concepto de energía relativista, los sitios de instituciones educativas defienden la modificación de este concepto como consecuencia de la modificación del concepto de masa o de momentum. Sin embargo, la totalidad de los sitios anónimos y la mayoría de los de autores individuales citan los trabajos de Einstein y directamente postulan la famosa ecuación de $E=mc^2$.

5.3. Esquema general de las distintas vías de introducción de la dinámica relativista

Si consideramos las distintas variables relacionadas con las transformaciones del saber, es posible mostrar en un esquema (Figura 6) las distintas vías asumidas por los sitios, según cuál es el concepto principal en la dinámica relativista, y cuáles son las razones que llevan a su introducción.

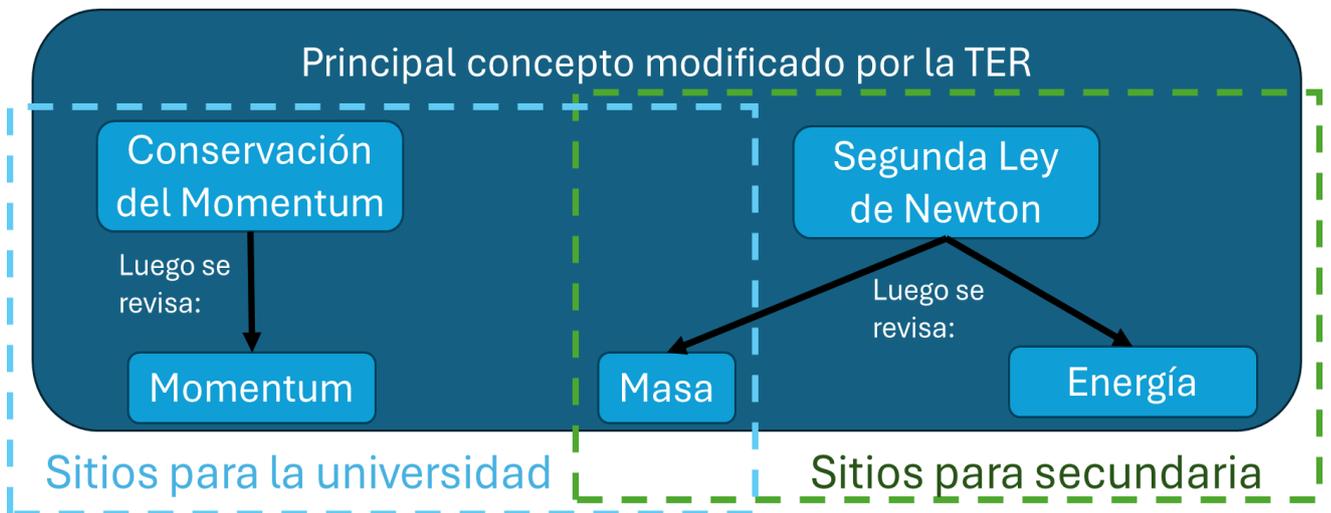


Figura 6. Principales conceptos modificados por la dinámica relativista y el abordaje de las webs.

En general, los sitios emplean dos grandes razones para introducir la dinámica relativista. Una de ellas es que, a altas velocidades no se conserva el momentum clásico, y esto conlleva a la necesidad de revisar este concepto. Esta vía es la que se muestra en la parte izquierda de la Figura 6 y es la utilizada por aproximadamente la mitad de los sitios para la universidad. Comparando los datos obtenidos en las variables 8 y 9, *conceptos introductorios a la dinámica relativista y cuestionamiento de la dinámica clásica*, se evidencia que más de tres cuartas partes de los sitios que comienzan estudiando el concepto de momentum, son sitios que plantean este argumento para introducir la dinámica relativista.

Otra de las razones principales es que, a altas velocidades la segunda ley de Newton deja de ser válida, por lo tanto, es necesario rever algunos de los conceptos involucrados (masa y energía). Esta vía es la que se muestra en la parte derecha de la Figura 6 y es la utilizada por aproximadamente la mitad de los sitios para la universidad y la amplia mayoría de los sitios para secundaria. Si se comparan las variables 8 y 9, *conceptos introductorios a la dinámica relativista y cuestionamiento de la dinámica clásica*, se puede apreciar que tres cuartas partes de los sitios que comienzan analizando el concepto de masa y el concepto de energía, hacen uso de este argumento para introducir la dinámica relativista. En algunos casos lo realizan mediante experimentos mentales o evidencia experimental acerca de que no es posible aumentar la velocidad de un objeto más allá que c , por lo tanto, la inercia del cuerpo debe aumentar y eso conlleva a un aumento de la masa y la energía sin sobrepasar el límite máximo de velocidad c .

Considerando la variable 8 (*conceptos introductorios a la dinámica relativista*) con la 14 y la 15 respectivamente (*masa y energía*), se evidencia que la mayoría de los sitios que comienzan analizando el concepto de momentum, argumentan que el cambio en el concepto de masa y energía son consecuencia de esta modificación. Análogamente, si consideramos la variable 8 (*conceptos introductorios a la dinámica relativista*) con la 13 y con la 15 respectivamente

(*momentum y energía*), se evidencia que los sitios que comienzan analizando el concepto de masa, argumentan en su mayoría el cambio en el concepto de momentum y energía como una consecuencia de revisar este concepto. Finalmente, considerando la variable 8 (*conceptos introductorios a la dinámica relativista*) con la 13 y con la 14 respectivamente (*momentum y masa*), se evidencia que los sitios que comienzan estudiando el concepto de energía argumentan en su mayoría que el concepto de masa cambia como consecuencia de éste, sin embargo, la mayoría de estas no le adjudican importancia al concepto de momentum y no lo abordan dentro de la dinámica relativista.

6. CONCLUSION

En esta sección respondemos las preguntas formuladas:

¿Cuál es el saber propuesto en los sitios web orientados a la enseñanza de la dinámica relativista en la escuela secundaria y la universidad?

A partir del saber presentado para estudiar la dinámica relativista en los sitios webs, se puede afirmar la existencia de una diferencia notable entre el enfoque adoptado por correspondientes al nivel secundario y universitario. La mayoría de las primeras parten de las leyes de Newton e ingresan a la dinámica relativista a partir de los conceptos de masa y energía, a diferencia de los sitios universitarios donde las principales vías de acceso son el concepto de masa y la conservación del momentum, que requiere estudiar colisiones en al menos dos dimensiones. Esta diferencia se debe al hecho de que ni el concepto de momentum ni las colisiones son estudiadas en la escuela secundaria.

¿Qué similitudes y diferencias existen con respecto al saber que se encuentra en los libros de texto?

Los sitios desarrollados por instituciones de educación formal tienen similitudes con los libros de texto en la mayoría de las categorías: formato de las secciones, nociones empleadas para ingresar a la dinámica relativista, razones empleadas, y cuestionamiento de la dinámica clásica (González, Otero y Arlego, 2022). También son

similares en el papel otorgado a la evidencia experimental según predicciones de la teoría, y los ejemplos asociados a la investigación científica que proponen. Esto podría deberse a que tradicionalmente, el saber académico se basa fundamentalmente en ciertos libros de texto canónicos, que permanecen a lo largo del tiempo. En consecuencia, la mayoría de los sitios desarrollados por instituciones educativas analizados aquí, reproducen el saber propuesto por los libros, pero dejan de lado las ventajas que ofrecen respecto del libro impreso.

¿Cuáles son las diferencias y similitudes entre el saber propuesto por las webs desarrolladas por instituciones (universidades y ministerios de educación) y las de autores individuales?

Por otro lado, las webs anónimas son diferentes de las institucionales y de los textos. La principal diferencia radica en que no ingresan a la dinámica relativista a partir de la noción de momentum, partiendo de los conceptos de masa y de energía. Particularmente parten del cuestionamiento de la segunda ley de Newton, y la mitad de ellas, no da razón de las modificaciones que establece la dinámica relativista. Otra de sus características relevantes es que ninguna posee un formato similar a los libros en cuanto a sus secciones, ni tampoco adjuntan referencias del conocimiento que proponen.

Se destaca que la mayoría de los sitios realiza un uso tradicional de las imágenes. Los sitios de autores individuales y anónimos no utilizan videos ni simuladores. Estos recursos se usan sólo en muy pocos casos por los sitios institucionales, lo cual puede atribuirse al costo que supone el desarrollo de recursos digitales visuales de calidad.

¿Cuáles son las implicaciones para la enseñanza de la dinámica relativista?

Podría ser interesante que según el nivel de la escolaridad donde se enseñe la dinámica relativista, se empleen las leyes de conservación, pues tienen mayor alcance que las leyes de Newton. Para enseñar la TER, varias investigaciones señalan la importancia de estudiar previamente ciertas nociones clásicas, que habitualmente la escuela desconsidera, colisiones en este caso (Arlego y Otero, 2017; Galili y Kaplan, 1997; Muñoz, 2020; Otero et al., 2016, 2018; Otero y Arlego, 2016; Prodanoff, 2015; Tefft y Tefft, 2007).

La distancia entre el saber académico y el saber escolar se incrementa debido a la escasa referencia a la evidencia experimental en los sitios para la escuela secundaria y la universidad. En los casos donde se proponen ejemplos, se refieren a la investigación científica, en lugar de acercarse al lector las consecuencias sociales de la dinámica relativista como la energía nuclear, la bomba atómica, que otorgan sentido a una de las ecuaciones más famosas del siglo veinte como $E=mc^2$ (Kneubil, 2019).

7. REFERENCIAS

Arriasecq, I. (2008). La enseñanza y el aprendizaje de la Teoría Especial de la Relatividad en el nivel medio/polimodal. [Tesis Doctoral. Universidad de Burgos]

- Antti, L. (2010). An analysis of the educational significance of nanoscience and nanotechnology in scientific and technological literacy, science education international, 2010-Sep. *Science Education International*, 21(3), 160–175. <https://eric.ed.gov/?id=EJ904866>.
- Ayene, M., Krick, J., Damitie, B., Ingerman, A., & Thacker, B. (2019). A holistic picture of physics student conceptions of energy quantization, the photon concept, and light quanta interference. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(6), 1049–1070. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9906-y>
- Biber, P., García, L., & Peláez, C. (2021). La valoración de sitios web relacionados con Dengue para la selección de materiales como aporte a la formación docente. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. 20 (2) pp. 291-320.
- Boublil, S., Blair, D., & Treagust, D.F. (2023). Design and Implementation of an Einsteinian Energy Learning Module. *Int J of Sci and Math Educ*. <https://doi.org/10.1007/s10763-022-10348-5>
- Chevallard, Y. (1985). La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné. *Grenoble: La pensée Sauvage*.
- De Hosson, C., Kermen, I., & Parizot, E. (2010). Exploring students' understanding of reference frames and time in galilean and special relativity. *European Journal of Physics*, 31(6), 1527-1538.
- Doménech, A., Casasús, E., & Doménech, M.T. (1993). The classical concept of mass: theoretical difficulties and students' definitions. *International Journal of Science Education*, 15(2), 163-173.
- Dimitriadi, K., & Halkia, K. (2012). Secondary Students' Understanding of Basic Ideas of Special Relativity. *International Journal of Science Education*. Londres. v. 34, n. 16, pp. 2565-2582. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2012.705048>.
- Galili, I., & Kaplan, D. (1997). Extending the application of the relativity principle: Some pedagogical advantages. *American Journal of Physics*, 65(4), 328-335.
- Gil, D., & Solbes, J. (1993). The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, 15(3), 255–260.
- González, R., Otero, M. R., & Arlego, M. (2022). Análisis del enfoque de la dinámica relativista en los libros de texto de secundaria y la universidad. *Revista De Enseñanza De La Física*, 34, 211–219. Recuperado a partir de: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/39833>
- Hoehn, R. D., MacK, N., & Kais, S. (2014). Using quantum games to teach quantum mechanics, part 1. *Journal of Chemical Education*, 91(3), 417–422. <https://doi.org/10.1021/ed400385k>
- Kersting, M., & Blair, D. (2021). Teaching Einsteinian physics in schools: An essential guide for teachers in training and practice. *Routledge*. <https://doi.org/10.4324/9781003161721>
- Kneubil, F. B. (2019). $E = mc^2$ and the weight of energy. *European Journal of Physics*, 40(1). <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aae7a6>
- Kneubil, F. B. (2020). Epistemological difficulties in implementing a teaching-learning sequence on the concept of mass. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2018-0325>

Muñoz, E. (2020). *Enseñanza de conceptos básicos de la Teoría Especial de la Relatividad en la escuela secundaria Colombiana*. [Tesis de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Facultad de Ciencias Exactas UNICEN, Tandil, Argentina.] <https://www.ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/handle/123456789/2604>

Okun, L.B. (1989). The Concept of Mass. *Physics Today*, 42(6), 31-36.

Otero, M. R., & Arlego, M. (2016). Secuencia para enseñar la Teoría Especial de la Relatividad en la Escuela Secundaria. Ed. UNICEN. Tandil, Argentina.

Otero, M. R., Arlego, M., & Prodanoff, F. (2016). Teaching the basic concepts of the Special Relativity in the secondary school in the framework of the Theory of Conceptual Fields of Vergnaud. *Il Nuovo Cimento*, Bolonia. 38C.

Otero, M. R., Moreira, M., & Greca, I. (2002). El uso de imágenes en los textos de física para la enseñanza secundaria y universitaria. *Investigações em Ensino de Ciências*. 7. 127-154.

Pérez, H., & Solbes, J. (2003). Algunos problemas en la enseñanza de la relatividad. *Enseñanza de las Ciencias*. 21 (1), 135-146.

Pérez, H., & Solbes, J. (2006). Una propuesta sobre enseñanza de la relatividad en el bachillerato como motivación para el aprendizaje de la física. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona. v. 24, n. 2, pp. 269-279.

Pitts, M., Venville, G., Blair, D., & Zadnik, M. (2014). An exploratory study to investigate the Impact of an

enrichment program on aspects of einsteinian physics on year 6 students. *Research in Science Education*, 44(3), 363–388. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9386-6>

Prado X., Dominguez-Castiñeiras J.M., Area I., Paredes A., & Mira J. (2020) Aprendizaje de la Teoría de la Relatividad Restringida de Einstein. Estado de la Cuestión. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 17(1), 1103. doi:10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i1.1103

Prodanoff, F. (2015). *Enseñanza de las nociones básicas de la Teoría Especial de la Relatividad (TER) en la escuela Secundaria*. [Tesis de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Facultad de Ciencias Exactas UNICEN, Tandil, Argentina.]

Riggs, P. (2016). A Comparison of Kinetic Energy and Momentum in Special Relativity and Classical Mechanics. *The Physics Teacher*, 54(2), 80-82.

Selçuk, G. S. (2011). Addressing pre-service teachers' understandings and difficulties with some core concepts in the special theory of relativity. *European Journal of Physics*, 32(1), 1-13.

Tefft, B., & Tefft, J. (2007). Galilean Relativity and the Work-Kinetic Energy Theorem. *The Physics Teacher*, 45(4), 218-220.

Treagust, D. F. (2021). Time for changing paradigms in science and in education. In M. Kersting & D. Blair (Eds.), *Teaching Einsteinian physics in schools: An essential guide for teachers in training and practice* (1st ed., pp. 16–31). Routledge.

8. ANEXO

Tabla 2. Sitios web analizados

Enlaces
https://www.fiquipedia.es/home/recursos/fisica/recursos-fisica-relativista/
https://gitlab.com/fiquipedia/drive.fiquipedia/-/raw/main/content/home/recursos/recursos-apuntes/apuntes-elaboracion-propia-fisica-2-bachillerato/F6.1-F%C3%ADsicaRelativista-Teor%C3%ADa.pdf
https://ocw.mit.edu/courses/8-20-introduction-to-special-relativity-january-iap-2021/pages/video-lectures/
https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_la_relatividad_especial
https://en.wikipedia.org/wiki/Special_relativity
https://proyectodescartes.org/iCartesiLibri/materiales_didacticos/LibroTeoriaRelatividad-JS/index.html
https://www.lawebdefisica.com/apuntesfis/relatividad/
https://es.wikiversity.org/wiki/Relatividad_Especial
https://fisicalandia.com/relatividad/relatividad-especial/
https://www.educ.ar/recursos/91858
https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-3/pages/5-introduccion
http://www.nocierreslosojos.com/teoria-relatividad-einstein/
http://rsefalicante.umh.es/Temas/Temas7.htm
http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html
Dinámica Relativista La guía de Física (laguia2000.com)

Prof. Richard González

Profesor de Física (2016) por el Instituto de Profesores “Artigas”, Consejo de Formación en Educación (Uruguay). Diploma de Especialización en Física (2019) por la Universidad de la República (Uruguay) y el Consejo de Formación en Educación (Uruguay). Actualmente, y desde el año 2021 es doctorando del programa de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias mención Física por la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN) cuyos directores de Tesis son la Dra. María Rita Otero y el Dr. Marcelo Arlego. Desde el año 2013 hasta la actualidad se desempeña como profesor de Física en el nivel de Educación Media Superior de la Dirección General de Educación Secundaria, Uruguay. Actualmente es miembro del Núcleo de Investigación en Educación en Ciencia y Tecnología (NIECyT), Argentina, y becario de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), Uruguay, donde desarrolla investigaciones en el área de la enseñanza de los conceptos básicos de la Teoría Especial de la Relatividad en la escuela secundaria.