

Análisis del enfoque de la dinámica relativista en los libros de texto de secundaria y la universidad

Analysis of the relativistic dynamics approach in high school and university textbooks

Richard González^{1,3}, María Rita Otero^{1,2} y Marcelo Arlego^{1,2}

¹ NIECyT. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina.

² CONICET - Argentina.

³ Liceo N°1 de Toledo, Dirección General de Educación Secundaria, Administración Nacional de Educación Pública, Canelones, Uruguay.

*E-mail: fisicarichardg@gmail.com

Recibido el 30 de septiembre de 2022 | Aceptado el 24 de octubre de 2022

Resumen

Esta investigación analiza las principales justificaciones para la revisión de los conceptos clásicos de cantidad de movimiento, masa y energía, en la enseñanza de la dinámica relativista en 18 libros de enseñanza secundaria y universitaria básica. Se realiza una categorización inductiva analizando la influencia del nivel educativo al que están dirigidos los textos en las justificaciones para la revisión de la dinámica clásica y sus estrategias, además de que se caracteriza el uso de los experimentos, imágenes, y la relevancia de estudiar la dinámica relativista expuesta por los distintos textos. Se evidencia una preferencia por los libros universitarios de revisar en primera instancia el concepto de cantidad de movimiento para el posterior análisis de las magnitudes dinámicas, mientras que en los libros de secundaria se revisan los conceptos de cantidad de movimiento, masa y energía de forma equitativa para la introducción de la dinámica relativista. Finalmente se realizan algunas consideraciones y discusiones en torno a las consecuencias que conlleva este estudio para la enseñanza de la dinámica relativista.

Palabras clave: Dinámica relativista; Libros de texto; Enseñanza-aprendizaje de la relatividad especial.

Abstract

This research analyses the main arguments for revising the classical concepts of momentum, mass and energy, in the teaching of relativistic dynamics in (N=18) high school and basic university textbooks through inductive categorization. It analyses how the educational level to which the texts are directed influences the arguments for the revision of classical dynamics and its strategies, in addition to characterizing the use of experiments, images, and the relevance of studying the relativistic dynamics exposed by the different texts. There is evidence of a preference for university books to review in the first instance the concept of momentum for the subsequent analysis of dynamic magnitudes, while in high school books the concepts of momentum, mass and energy are reviewed equally for the introduction of relativistic dynamics. Finally, some considerations and discussions are made about the consequences that this study entails for the teaching of relativistic dynamics.

Keywords: Relativistic dynamics; Textbooks; Teaching and Learning of Special Relativity.

I. INTRODUCCIÓN

Sin duda alguna una de las revoluciones científicas más significativas en la historia del pensamiento humano surge con la aparición de la llamada Física moderna. Tras la formulación de la Teoría Especial de la Relatividad (TER) a principios del siglo. XX se introducen grandes cambios en la conceptualización de nociones fundamentales para la Física tales como el espacio, el tiempo, la masa y la energía. A pesar de que han transcurrido más de cien años, estas ideas vigentes en el saber académico no han llegado a la escuela, sino de manera muy parcial. Los saberes ligados a la TER no se difunden en la educación secundaria, y aunque el currículo los incluya, no integran el saber enseñado. Esta no difusión constituye un fenómeno didáctico que viene siendo investigado.

Existen diversos estudios sobre el aprendizaje de los conceptos básicos de la TER en estudiantes universitarios y de secundaria sobre todo enfocados en la cinemática relativista (Angotti, *et al.* 1978; Arlego y Otero, 2017; Arriassecq, 2008; De Hosson, *et al.* 2010; Dimitriadi, *et al.* 2009, 2012; Gil y Solbes, 1993; González, R. 2021; Hewson, 1982; Levrini y diSessa, 2008; Muñoz, 2020; Ozcan, 2017; Otero *et al.*, 2015, 2016; Otero y Arlego, 2016; Otero, *et al.*, 2018; Panse *et al.* 1993; Pérez y Solbes, 2003, 2006; Pietrocola y Zylbersztajn, 1999; Posner *et al.* 1982; Prodanoff, 2015; Ramadas, *et al.* 1996; Saltiel y Malgrange, 1980; Selçuk, 2011; Scherr, *et al.* 2001, 2002; Scherr, 2007; Villani y Pacca, 1987; Villani y Arruda, 1998). Sin embargo, en lo que respecta a la dinámica relativista los trabajos son menos numerosos (Doménech *et. al.*, 1993; Galili y Kaplan, 1997; Okun, 1989; Pérez y Solbes, 2003, 2006; Riggs, 2016; Selcuk, 2011; Tefft y Tefft, 2007).

En consecuencia, resulta de interés analizar los tópicos relacionados a la dinámica relativista, incluso socialmente se ha difundido la expresión de la fórmula $E=mc^2$ sin que se comprenda su significado, su origen, su sentido y utilidad.

A. La relevancia de la textualización en la enseñanza de las ciencias

Los libros escolares son un elemento central de la transposición didáctica (Chevallard, 1985). Sin embargo, los fenómenos transpositivos no son evidentes para los comunicadores de la ciencia a todo nivel: ni para quienes escriben los libros, ni para los usuarios, docentes y estudiantes. Existe transposición porque hay al menos dos formas distintas de funcionamiento del saber, que no son superponibles: la del saber erudito y la del saber escolar. Al reconocer la existencia de la transposición, el didacta debe ejercer un principio de ruptura doble y distanciarse de ambas posiciones, puesto que debe estudiar la difusión o comunicación del saber, que incluye las características que este debería o podría tener para que sea enseñable, enseñado y aprendido. Enseñable remite a una metáfora ecológica, el saber debe sobrevivir y adaptarse en la institución en la cual será enseñado.

B. Antecedentes

En este trabajo realizamos un primer análisis del proceso traspositivo en el ámbito de la dinámica relativista, que tiene lugar mediante los libros de escolares del nivel secundario y universitario básico. Particularmente, nos interesamos por estudios sobre los libros escolares del tipo de los desarrollados por Otero, *et. al.*, (2002); Otero y Llanos, (2019); Llanos y Otero, (2007), en los cuales se realiza una categorización inductiva y se encuentran semejanzas entre los libros de texto con el fin de describir las diferencias y similitudes entre los mismos.

Por otro lado, en el ámbito de la TER mencionamos los trabajos de análisis de libros de textos para el secundario que adoptan una perspectiva epistemológica e histórica y señalan que los textos tienen una pobre introducción a los contenidos de la TER y no están contextualizados históricamente (Arriassecq y Greca, 2007). Resultados similares se evidenciaron en España (Pérez y Solbes, 2003) y Corea del Sur (Gim, 2016; Ha, 2018). Al igual que la mayoría de las investigaciones en enseñanza de la TER, estos estudios se reducen a la cinemática relativista, mientras que los aspectos dinámicos están relegados.

C. Preguntas de investigación

¿Cuál es la principal “puerta de entrada” a la dinámica relativista en los libros de educación media y universidad básica?
 ¿Cuáles son las implicaciones para la enseñanza de la TER y de las ciencias?

II. METODOLOGÍA

Se analizan los capítulos asociados a la dinámica relativista de 18 libros escolares para el nivel Secundario y Universitario Básico editados entre el año 1970 y 2016. Se realiza una categorización inductiva donde se generan distintas

variables con sus respectivas modalidades (tabla I) que emergen de los libros analizados. A continuación se describen las distintas variables generadas con sus respectivas modalidades.

TABLA I. Variables con sus modalidades.

	Características de los libros de texto
1-NIVEL EDUCATIVO	1-1 SECU (Secundaria)
	1-2 UNI (Universidad)
2-CONCEPTO CENTRAL	2-1 M (Masa)
	2-2 P (Cantidad de movimiento)
	2-3 E (Energía)
3-IMPORTANCIA EMPÍRICO	3-1 NOIMP (No exponen evidencia experimental)
	3-2 POCO (Poca evidencia experimental)
	3-3 MUCHO (Mucha evidencia experimental)
4- CONSECUENCIAS	4-1 INVC (Investigación científica)
	4-2 COT (Cotidiano)
	4-3 AMB (Ambas)
5- ROL DE LAS IMÁGENES	5-1 TRAD (Tradicional)
	5-2 INTR (Introdutoria)
6- MOTIVO DE IMPLEMENTAR LA DINÁMICA	6-1 CONS (No valen leyes de conservación)
	6-2 2LN (No vale la 2da ley de Newton)
7- ESTUDIO DE CHOQUES	7-1 CH1D (Choques unidimensionales)
	7-2 CH2D (Choques bidimensionales)
	7-3 NOCH (No estudian choques)
	Justificaciones principales para la revisión de los conceptos
8-CANTIDAD DE MOVIMIENTO	8-1PNLC (Inconsistencias en las leyes de conservación)
	8-2 PN2L (Inconsistencias 2da Ley de Newton)
	8-3 PNIMP (No da importancia a cantidad de movimiento)
	8-4 PCONSE (Consecuencias del cambio en concepto Energía)
	8-5 PCIEP (Cita a Einstein postulando)
9-MASA	9-1 MNLC (Inconsistencias en las leyes de conservación)
	9-2 MN2L (Inconsistencias 2da Ley de Newton)
	9-3 MCONSE (Consecuencias del cambio en concepto Energía)
	9-4 MCONSP (Consecuencias del cambio en concepto Cantidad de movimiento)
10-ENERGÍA	10-1 ECONSM (Consecuencias del cambio en concepto Energía)
	10-2 ECIEP (Cita a Einstein postulando)
	10-3 ENLC (Inconsistencias en las leyes de conservación)
	10-4 ECONSP (Consecuencias del cambio en concepto Cantidad de movimiento)

A. Características de los libros de texto

1. Nivel Educativo

Se refiere al nivel educativo al cual está dirigido.

1-1 SECU (Secundaria) 8 textos

1-2 UNI (Universidad) 10 textos

2. Concepto central

Esta variable se refiere al concepto central con el que los textos introducen la dinámica relativista.

2-1 M (Masa) Estos textos justifican el cambio de la dinámica clásica a la relativista basándose en la necesidad de revisar el concepto de masa, y a partir de ello justifican el resto de las diferencias entre la dinámica de la TER y la física clásica. (3 textos)

2-2 P (Cantidad de movimiento) Estos textos justifican el cambio de la dinámica clásica a la relativista modificando el concepto de cantidad de movimiento. Es a partir de esta modificación que se deducen o justifican el resto de los cambios que introduce la TER con respecto a la dinámica clásica. (12 textos)

2-3 E (Energía) Esta modalidad abarca a los textos que comienzan justificando una revisión del concepto de energía como el punto de partida para el análisis posterior de las demás implicaciones de la dinámica relativista. (3 textos)

3. *Importancia adjudicada a los experimentos en la fundamentación de la dinámica relativista*

3-1 NOIMP (No exponen evidencia experimental) Los textos incluidos en esta modalidad no exponen evidencia experimental para “convencer” al lector de las consecuencias de la dinámica relativista. (4 textos)

3-2 POCO (Poca evidencia experimental) Son libros que le adjudican una importancia moderada a los experimentos. En su mayoría expone resultados experimentales para convencer al “lector” pero sin citar las fuentes de los experimentos, o sin mostrar datos de los mismos. (10 textos)

3-3 MUCHO (Mucha evidencia experimental) Son los libros que realizan una fuerte justificación en base a los experimentos que demuestran las consecuencias de la dinámica relativista. Se trata de textos que citan las fuentes de los experimentos o muestran gráficos y datos reales de los mismos. (4 textos)

4. *Relevancia de las consecuencias de la dinámica relativista*

4-1 INVC (Investigación científica) En esta modalidad se encuentran los libros que muestran la relevancia de la dinámica relativista más que nada asociada a la investigación científica como por ejemplo: la creación y desintegración de pares, aceleradores de partículas, etc. (12 textos)

4-2 COT (Cotidiano) Son textos 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, la bomba atómica, fusión nuclear en el sol, etc. (3 textos)

4-3 AMB (Ambas) Los 3 libros incluidos en esta modalidad exponen la importancia de lo cotidiano así como también de la investigación científica de manera equitativa.

5. *Rol de las imágenes en los libros de texto*

5-1 TRAD (Tradicional) Se trata de libros donde predomina el uso de la comunicación verbal y se utiliza muy poco el recurso de la imagen. (13 textos)

5-2 INTR (Introdutoria) Los libros ubicados en esta modalidad son aquellos que hacen un uso de la imagen como una forma de introducir la temática y como un complemento de los argumentos que plantean en el texto. (5 textos)

6. *Principal razón para revisar la dinámica en la TER*

6-1 CONS (No valen leyes de conservación) Son libros que justifican la necesidad de revisión de la dinámica clásica debido a que a altas velocidades no se cumplen las leyes de conservación (siempre en este contexto, con relación a la velocidad de la luz c), en algunos textos se enfocan más en la conservación de la cantidad de movimiento y en otros en la conservación de la masa-energía. (11 textos)

6-2 2LN (No vale la 2da ley de Newton) Se trata de los textos que justifican la necesidad de una revisión de la dinámica clásica, ya que a altas velocidades no se cumple la segunda ley de Newton. En algunos casos se exponen resultados experimentales y en otros experimentos mentales para su análisis. (7 textos)

7. *Estudio de choques*

7-1 CH1D (Choques unidimensionales) Son libros de texto que estudian choques unidimensionales desde distintos marcos de referencia para sus demostraciones. (4 textos)

7-2 CH2D (Choques bidimensionales) Estos textos abordan los choques elásticos bidimensionales para sus demostraciones visto desde distintos marcos de referencia. (5 textos)

7-3 NOCH (No estudian choques) Son los libros de texto que no analizan de ninguna manera los choques entre partículas. (9 textos)

B. Justificaciones principales para la revisión de los conceptos

8. *Justificación para modificar el concepto de Cantidad de movimiento en la TER*

8-1PNLC (Inconsistencias en las leyes de conservación) Los textos incluidos en esta modalidad sostienen que es necesario modificar el concepto clásico de Cantidad movimiento debido a que este no es compatible con las leyes de conservación a altas velocidades, y con la adición de velocidades relativista. En seis textos se estudian choques elásticos bidimensionales para mostrar estas inconsistencias, y en cuatro textos se analizan choques unidimensionales con los mismos fines, en ocasiones elásticos y en otras inelásticos, y en un texto se explica dicha incompatibilidad sin estudiar los choques (11 textos)

8-2 PN2L (Inconsistencias 2da Ley de Newton) Este tipo de textos sostienen que es necesario un cambio en el concepto de Cantidad de movimiento clásico, ya que a altas velocidades la segunda ley de Newton deja de ser válida. En algunos casos plantean el ejemplo (experimento mental o evidencia empírica) de una partícula sometida a una fuerza constante durante un tiempo elevado lo cual lleva a un incremento de la velocidad indefinido (incluso superando c) violando así el 2do postulado de la TER. (2 textos)

8-3 PNIMP (No da importancia a cantidad de movimiento) Son libros de texto en el cuál directamente no se aborda la temática de la cantidad de movimiento en la TER. (2 textos)

8-4 PCONSE (Consecuencias del cambio en concepto Energía) Este tipo de textos muestran que es necesario un cambio en el concepto de cantidad de movimiento 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 como es la cantidad de movimiento deba ser modificada en la TER. (2 textos)

8-5 PCIEP (Cita a Einstein postulando) El texto que se encuentra en esta modalidad define desde el comienzo del libro la cantidad de movimiento de forma relativista citando los trabajos de Einstein, y trabaja en la sección de mecánica clásica con la aproximación a bajas velocidades.

9. Justificación para la revisión del concepto de Masa

9-1 MNLC (Inconsistencias en las leyes de conservación) Estos textos afirman que es necesario revisar el concepto de masa para que se cumplan las leyes de conservación a altas velocidades. Incluso en uno de ellos se obtiene la ecuación de la masa relativista aplicando las leyes de conservación a un choque bidimensional. (2 textos)

9-2 MN2L (Inconsistencias 2da Ley de Newton) Los libros 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) este 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. (2 textos)

9-3 MCONSE (Consecuencias del cambio en concepto Energía) Estos textos plantean que la revisión del concepto de masa se debe a la modificación en la TER del concepto de Energía por la ecuación $E=mc^2$. (4 textos)

9-4 MCONSP (Consecuencias del cambio en concepto Cantidad de movimiento) Son libros que tienen como punto de partida el cambio en el concepto de cantidad de movimiento, donde la inclusión del factor gamma en dicho concepto lleva a una revisión del concepto de masa. (10 textos)

10. Justificación para revisar el concepto de Energía

10-1 ECONSM (Consecuencias del cambio en concepto Energía) Están incluidos en esta modalidad los libros que sostienen que existe un cambio en el concepto de energía debido a la relación con la masa, en particular por la relación $E=mc^2$. (5 textos)

10-2 ECI EP (Cita a Einstein postulando) Se trata de textos que citan el trabajo de Einstein postulando directamente la ecuación $E=mc^2$ y luego realizan las pertinentes interpretaciones. (5 textos)

10-3 ENLC (Inconsistencias en las leyes de conservación) Son libros que basan la revisión del concepto de energía en las inconsistencias de las leyes de conservación cuando se utiliza el concepto de energía cinética clásico en choques. (2 textos)

10-4 ECONSP (Consecuencias del cambio en concepto Cantidad de movimiento) Se trata de textos que deducen la energía cinética relativista, y posteriormente la ecuación $E=mc^2$, a partir de aplicar el teorema del trabajo y la energía cinética junto con el concepto de cantidad de movimiento relativista. (6 textos)

III. RESULTADOS

Las siguientes gráficas de perfiles horizontales, permiten evidenciar cómo se construyen las modalidades de una variable en términos de las modalidades del resto de las variables.

En primer lugar es posible observar que la mayoría de los libros universitarios tienen como concepto central para abordar la dinámica relativista el concepto de cantidad de movimiento (P), mientras que en los libros de secundaria no es esta la vía hegemónica, sino que también comienzan abordando el concepto de masa (M) y el de energía (E), para así poder desarrollar la dinámica relativista (FIGURA 1). Por otro lado, se observa que en los libros universitarios se tiene como principal justificación para revisar los conceptos dinámicos clásicos la incompatibilidad de las leyes de conservación clásicas a altas velocidades (CONS) (70% de los textos), mientras que en los libros de secundaria la mitad realizan la misma justificación y la otra mitad sostienen que la revisión de los conceptos clásicos es debido a que la segunda ley de Newton a altas velocidades deja de ser válida (2LN).

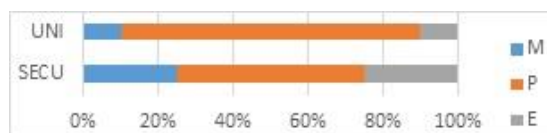


FIGURA 1. Nivel-Concepto central.

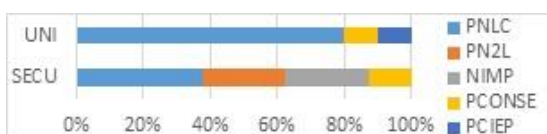


FIGURA 2. Nivel-Justificación de revisión de P.

En ese sentido es interesante el análisis de las principales justificaciones para la revisión de los distintos conceptos. Por ejemplo, en el caso del concepto de cantidad de movimiento (FIGURA 2), los libros universitarios justifican en su mayoría realizando experimentos mentales o dando evidencia experimental sobre la invalidez de las leyes de conservación, incluso analizando choques (bidimensionales y unidimensionales) para demostrarlo (PNLC), mientras que en los libros de secundaria la justificación es más variada, ya que plantean lo anterior, así como también la invalidez de la segunda ley de Newton a altas velocidades (PN2L), incluso en algunos textos no se realiza un abordaje del concepto de cantidad de movimiento en relatividad (NIMP). En los que respecta al concepto de masa (FIGURA 3), se nota una marcada presencia de libros universitarios que sostienen que la revisión del concepto de masa es una consecuencia de la modificación de la cantidad de movimiento en la TER (MCONSP), mientras que en los textos de secundaria se justifica también que es una consecuencia del cambio en el concepto de energía a partir de la ecuación $E=mc^2$ (MCONSE), e incluso plantean el contraejemplo: si aceleramos un cuerpo constantemente (debido a una fuerza constante) este debe aumentar su velocidad 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 (MN2L). Finalmente en el caso del concepto de energía (FIGURA 4) se observa una marcada diferencia entre los libros de universidad y secundaria, ya que los primeros nuevamente justifican que es una consecuencia en el concepto de cantidad de movimiento (ECONSP), mientras que en secundaria la mitad justifican que es debido al cambio en el concepto de masa debido a $E=mc^2$ (ECONSM), y la otra mitad citan los trabajos de Einstein y postulan su famosa ecuación (ECIEP).

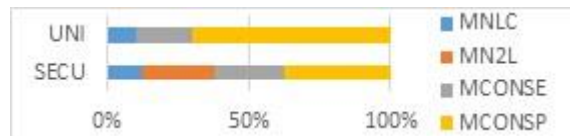


FIGURA 3. Nivel-Justificación de revisión de M.

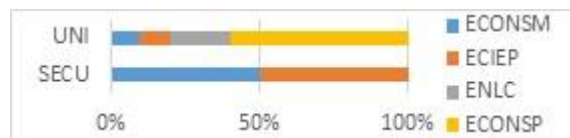


FIGURA 4. Nivel-Justificación de revisión de E.

En cuanto a la importancia atribuida a los experimentos para justificar los cambios introducidos por la TER se evidencia que en la mayoría de los textos, tanto de universidad (70%) como de secundaria (80%), se utilizan resultados experimentales para “convencer” al lector, pero no citan las investigaciones ni se ofrecen datos de los experimentos (POCO). Asimismo, una cuarta parte de los libros universitarios no adjudica importancia a los experimentos, realizando un enfoque más narrativo y conceptual.

En otro sentido se evidencia en la FIGURA 5 otra diferencia entre los libros universitarios y de secundaria en torno a la relevancia de las consecuencias de la dinámica relativista. En la amplia mayoría de los libros universitarios se ponen gran cantidad de ejemplos relacionados a la investigación científica (INVC) mientras que en los de secundaria tratan de “acercar” al lector a las implicaciones en la vida cotidiana que tiene la dinámica relativista con ejemplos conocidos (COT).

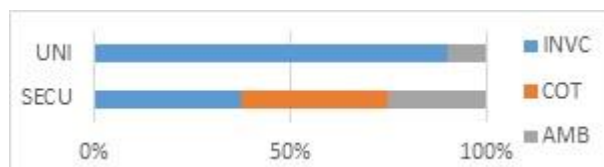


FIGURA 5. Nivel-Relevancia de las consecuencias de la dinámica relativista.

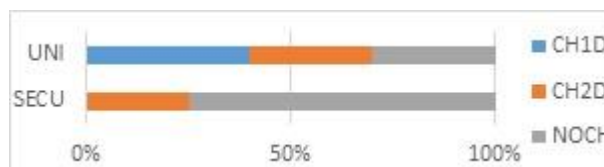


FIGURA 6. Nivel-Estudio de choques.

Se puede apreciar que varios de los textos realizan un estudio de choques visto desde distintos marcos de referencia en sus demostraciones. Se observa (FIGURA 6) que la mayoría de los libros universitarios utiliza dicho recurso en sus demostraciones, mientras que en los libros de secundaria no es tan común dicho recurso.

La mayoría de libros universitarios y de secundaria (70 % aproximadamente) usan las imágenes de modo tradicional, sin que existan casi diferencias entre el uso de las imágenes.

VI. CONCLUSIONES

Es posible afirmar que existe una diferencia entre el enfoque de los libros de texto orientados a la universidad y los orientados al nivel secundario en relación con la “puerta de entrada” a la dinámica relativista. Estas diferencias residen en los conceptos centrales que abordan para su estudio, en los libros universitarios es la cantidad de movimiento el principal concepto a revisar, y en secundaria se aborda de manera equilibrada la cantidad de movimiento, el concepto de masa y el concepto de energía. Otra de las diferencias principales es el uso en las deducciones de las leyes de conservación, y los ejemplos que exponen sobre la relevancia de la dinámica relativista (más cercanos a la vida cotidiana en el caso de los libros de secundaria). Sin embargo no existe diferencia entre los libros de texto universitarios y de secundaria en el uso de las imágenes y de los experimentos para “convencer” al lector. Esto deriva en que esta sección de los textos no sea visualmente tan “atractiva” para los estudiantes de secundaria como otras y establezca una distancia mayor entre el “saber a enseñar” y el “saber enseñado” (Chevallard y Bosch, 2014).

Por otro lado, se puede afirmar que tal como ocurre en la cinemática relativista varios de los libros plantean que la masa “cambia” con la velocidad de los observadores. Asimismo, y en lo que respecta a los conceptos centrales, es entendible que los libros de secundaria se basen en la invalidez de la segunda ley de Newton a altas velocidades, porque los programas de secundaria se focalizan en la física clásica. Sin embargo dependiendo del año escolar donde se enseñe la dinámica relativista en secundaria, sería interesante que el enfoque gire en torno a las leyes de conservación, ya que estas tienen un alcance mayor que las leyes de Newton y se aplican en distintas teorías de la Física como es el caso de la TER. Además esto requiere del estudio previo de choques desde la relatividad galileana que tiene importancia para la enseñanza de la TER tal como lo han expuesto algunas investigaciones (Arlego y Otero, 2017; Galili y Kaplan, 1997; Muñoz, 2020; Otero *et al.*, 2015, 2016; Otero y Arlego, 2016; Otero, *et al.*, 2018; Prodanoff, 2015; Tefft y Tefft, 2007).

Finalmente, teniendo en cuenta la escasa difusión de estos saberes y el enfoque diverso propuesto por los libros escolares para secundaria, se evidencia la necesidad y relevancia de investigaciones didácticas relativas a la enseñanza de la dinámica relativista en este nivel.

REFERENCIAS

Angotti, J. A. *et al.* (1978). Teaching relativity with a different philosophy. *American Journal of Physics*. College Park, (46), 1258-1262.

Arlego, M. Otero, M. (2017). Teaching basic special relativity in high school: the role of classical kinematics. *International Journal of Physics and Chemistry Education*, 9(1), 9-12.

Arriasecq, I. Greca, I. (2007). Approaches to the Teaching of Special Relativity Theory in High School and University Textbooks of Argentina. *Sci Educ* 16, 65–86 <https://doi.org/10.1007/s11191-005-5387-9>

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-Universidad Federal de Río Grande do Sul.

Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La pensée Sauvage.

Chevallard Y. Bosch M. (2014). Didactic Transposition in Mathematics Education. In: Lerman S. (eds) *Encyclopaedia of Mathematics Education*. Springer, Dordrecht. 170-174

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. y 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*, 34(16), 2565-2582. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2012.705048>
- Dimitriadi, K. Halkia, K. Skordoulis, C. (2009). An attempt to teach the theory of special relativity to students of upper secondary education. In: ÇAKMAKCI, G.; TASAR, M.F. (eds.), *Proceedings of ESERA 2009 "Contemporary science education research: Learning and assessment"*. Ankara: Turquía. 183-187.
- 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.
- Gim, J. (2016). Special theory of relativity in south Korean high school textbooks and new teaching guidelines. *Science and Education*, 25(5-6), 575-610. doi:10.1007/s11191-016-9840-8
- González, R. (2021). Entendimiento conceptual sobre la Teoría Especial de la Relatividad en estudiantes de Formación Docente del Uruguay. *Avances en Enseñanza de la Física*. 3(1). <https://doi.org/10.36411/AEF.3.1.5>
- Ha, S. (2018). Analysis of special relativity theory in high school physics textbooks under the 2009 and the 2015 revised curricula. *New Physics: Sae Mulli*, 68(10), 1069-1080. doi:10.3938/NPSM.68.1069
- Hewson, P. W. (1982). A case study of conceptual change in special relativity: The influence of prior knowledge in learning j. *European Journal of Science Education*, 4(1), 61-78.
- 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>
- Levrini, O., & diSessa, A. A. (2008). How students learn from multiple contexts and definitions: Proper time as a coordination class. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 4(1).
- Llanos, V. Otero, M. Banks, L. (2007). Argumentación matemática en los libros de texto de la enseñanza media. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 2(2), 39-53.
- Okun, L. B. (1989). The Concept of Mass. *Physics Today*, 42(6), 31-36.
- Otero, M. Arlego, M. (2016). *Secuencia para enseñar la Teoría Especial de la Relatividad en la Escuela Secundaria*. Ed. UNICEN. Tandil, Argentina.
- Otero, M. (2006). Emociones, sentimientos y razonamientos en Didáctica de las Ciencias. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 1(1).
- Otero, M. Arlego, M. Muñoz, E. (2018). Relativity of the simultaneity in high school: an analysis based on the Theory of the Conceptual Fields. In *Teaching/Learning Physics Integrating Research Into Practice GIREP MPTL*, San Sebastián, España.
- Otero, M. Arlego, M. Prodanoff, F. (2015). Design, analysis and reformulation of a didactic sequence for teaching the Special Theory of Relativity in high school. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 37(3), 3401.
- Otero, M. 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.

- Otero, M. Llanos, V. (2019). Los libros escolares de matemática y física en Argentina entre 1961 y 2009: el papel de las imágenes. *IARTEM E-Journal*, 11. 1-21. 10.21344/iartem.v11i1.586.
- Otero, M. 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.
- Ozcan, O. (2017). Examining the students' understanding level towards the concepts of special theory of relativity. *Problems of Education in the 21st Century*, 75(3), 263-269.
- Panse, S., Ramadas, J., & Kumar, A. (1993). Alternative conceptions in Galilean relativity: Frames of reference. *International Journal of Science Education*, 16(1), 63-82.
- 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*, 24(2), 269-279.
- Pietrocola, M. Zylbersztajn, (1999). A. The use of the principle of relativity in the interpretation of phenomena by undergraduate students. *International Journal of Science Education*, 21(3), 261-276.
- Posner, G., Strike, A., Hewson, P. & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, (66), 211-227.
- 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.
- Ramadas, J., Barve, S., & Kumar, A. (1996). Alternative conceptions in Galilean relativity: Inertial and non-inertial observers. *International Journal of Science Education*, 18(5), 615-629.
- Riggs, P. (2016). A Comparison of Kinetic Energy and Momentum in Special Relativity and Classical Mechanics. *The Physics Teacher*, 54(2), 80-82.
- Saltiel, E. & Malgrange, J. (1980). "Spontaneous" ways of reasoning in elementary kinematics. *European Journal of Physics*, 1, 73-80.
- 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.
- Scherr, R. E., Shaffer, P. S., & Vokos, S. (2001). Student understanding of time in special relativity: Simultaneity and reference frames. *American Journal of Physics*, 69(7 SUPPL. 1), S24-S35.
- Scherr, R. E., Shaffer, P. S., & Vokos, S. (2002). The challenge of changing deeply held student beliefs about the relativity of simultaneity. *American Journal of Physics*, 70(12), 1238-1248.
- Scherr, R. E. (2007). Modeling student thinking: An example from special relativity. *American Journal of Physics*, 75(3), 272-280.
- Tefft, B. Tefft, J. (2007). Galilean Relativity and the Work-Kinetic Energy Theorem. *The Physics Teacher*, 45(4), 218-220.
- Villani, A., & Pacca, J. L. A. (1987). Students' spontaneous ideas about the speed of light. *International Journal of Science Education*, 9(1), 55-66.
- Villani, A., & Arruda, S. M. (1998). Special theory of relativity, conceptual change and history of science. *Science and Education*, 7(1), 85-100.
- Whitaker, M. A. B. (1976). Definitions of mass in special relativity. *Physics Education*, 11(1), 55-57.