

# Análisis de aspectos relevantes para el abordaje de la Teoría de la Relatividad Especial en los últimos años de la enseñanza media desde una perspectiva contextualizada histórica y epistemológicamente

## Segunda Parte\*

Irene Arriasecq<sup>1</sup> - Ileana M. Greca<sup>2</sup>

<sup>1</sup> NIECyT, Facultad de Cs. Exactas, UNCPBA. Tandil, Argentina.  
irenarr@exa.unicen.edu.ar

<sup>2</sup> In-Praxis, Comunidades en Práctica. Burgos, España.  
ilegreca@hotmail.com

*En este trabajo se presentan los resultados de diversas investigaciones que hemos realizado sobre la enseñanza y el aprendizaje de la Teoría Especial de la Relatividad (TER). Discutiremos el abordaje didáctico que consideramos apropiado para introducir la TER en el nivel polimodal, de qué forma este abordaje se ve reflejado en los libros didácticos más usados por los profesores y en qué medida el tratamiento sobre la TER en los libros de texto puede influir en las decisiones didácticas de los profesores y en la comprensión de los alumnos sobre el tema. Pretendemos con esto proporcionar argumentos sólidos para una efectiva incorporación de la TER en el nivel polimodal.*

**Palabras clave:** teoría especial de la Relatividad, enseñanza, contextualización histórico-epistemológica.

*In this work the results of diverse investigations carried out on the teaching and learning of Relativity Special Theory are presented. We discuss the didactic approach that we considered appropriate to introduce the TER in the polimodal level and how the treatment on the TER in the didactic books more used by teachers can influence in their didactic decisions and in the students' understanding on this topic.*

**Keywords:** teaching, historical and epistemological context, relativity special theory.

### Influencia de las visiones presentadas en los libros de nivel polimodal en las clases donde se aborda el tema TER

Resumiendo los resultados obtenidos en nuestras investigaciones (Arriasecq y Greca, 2002, 2004a, 2005):

- Los docentes acuerdan en que la TER es un tema relevante y debería ser incorporado en los planes de estudio de Física del ciclo polimodal, sin embargo parecería que carecen de una comprensión profunda de los conceptos relevantes para interpretar correctamente la TER y sus implicancias, a pesar de haber reci-

bido instrucción formal en el tema.

- Los docentes consideran que la principal dificultad para aprender significativamente la TER son los conceptos previos que el alumno debiera haber construido<sup>1</sup>. Sin embargo, no aparece en las respuestas de los docentes referencia a conceptos como: simultaneidad, sincronización de relojes y discusiones respecto de tiempo y espacio en mecánica clásica, conceptos previos indispensables para un aprendizaje significativo de la TER. Esto parece ser coherente con el punto anterior en relación con el escaso dominio del tema por parte de los docentes.

1. Como investigadores del área de Enseñanza de la Ciencia, compartimos esta opinión desde una perspectiva que integra los aspectos epistemológico, psicológico y didáctico.

\* Se presenta la segunda parte de un artículo cuya publicación se inició en el Volumen 18 N° 1. En la Primera Parte se presentó la problemática que introduce la enseñanza de la Teoría de la Relatividad Especial en el nivel polimodal, un abordaje de la TER a partir de un enfoque epistemológico e histórico moderno y los resultados del análisis del abordaje de la TER en los libros didácticos más utilizados.

- El libro de texto parece ser el principal recurso utilizado para la preparación de clases, fundamentalmente los de nivel polimodal, y son esos mismos textos los recomendados a los alumnos, no pareciendo tener la costumbre de consultar textos de un nivel superior.

- El análisis del material didáctico disponible muestra la ineficiencia de los mismos para que los profesores puedan abordar, desde una perspectiva contextualizada, la introducción de la TER en el ciclo medio/polimodal.

A partir de estos resultados, decidimos realizar un estudio que contemplase los aspectos antes señalados en una situación concreta de aula. Optamos por un estudio de caso en las clases de una docente que accedió a abordar el tema TER. Esta profesora no había dado nunca este tema y tampoco había cursado en su carrera alguna materia que lo contemplara. Conocíamos a la docente y sabíamos de la responsabilidad que implicaba abordar un tema nuevo para ella en su contexto de aula, con alumnos que, en general, manifestaban inquietudes hacia temas de Física y la TER les resultaba particularmente atractiva. Los 18 alumnos de este curso pertenecían al tercer año del ciclo polimodal de una escuela privada de Tandil, provincia de Buenos Aires. En principio se acordaron ocho clases de dos horas cada una para abordar el tema TER, que incluirían hasta tópicos de mecánica relativista. Decidimos que el enfoque más adecuado como principal procedimiento para obtener la información que nos permitiría lograr la descripción de los aspectos que nos interesaban era la *observación no participante*. Además de los registros de todas las clases de esta observación y del material producido por los estudiantes, realizamos una entrevista a la docente. Presentaremos a continuación los resultados del estudio, centrándonos tanto en el rol adoptado por la docente como en las respuestas de los alumnos. Intentaremos, al analizar la evaluación final sobre el tema realizada por los alumnos, evaluar qué tipos de aprendizajes fueron logrados por los mismos.

El rol del docente puede ser desglosado en dos subcategorías: la *Planificación del docente para abordar el tema TER* (selección de contenidos que realiza y decisiones que toma

basadas en materiales ya elaborados por otros, como por ejemplo textos de uso habitual) y la *Intervención del docente en el desarrollo de las clases* (rol que permite adoptar a los estudiantes en las clases y tipo de actividades que solicita a los alumnos, tanto de revisión de temas parciales como la evaluación final del tema).

En cuanto a la *planificación e implementación* de la propuesta para abordar la TER realizada por la docente, podemos señalar los siguientes aspectos que consideramos más relevantes de los registros realizados en las clases observadas:

- Organiza la secuencia de contenidos siguiendo fundamentalmente la estructura del texto que los alumnos utilizan habitualmente en sus clases de Física (“Física Conceptual” de P. Hewitt).

- En la primera clase, también seleccionó unas lecturas del texto “Física en Perspectiva”. Los textos seleccionados se referían a: los postulados de la TER, cómo Einstein imaginó, cuando tenía dieciséis años, que sería viajar junto a una onda de luz a la misma velocidad que ésta y otro referido a un reloj que emite un pulso de luz cada un segundo y se plantea el análisis de cómo lo “vería” alguien que se mueve con velocidad constante respecto del reloj. En esta misma clase, la docente remarca que: “*La genialidad de Einstein fue postular su teoría sin tener ninguna evidencia experimental*”. Este tipo de abordaje, refuerza la creencia de que los conocimientos científicos comienzan con la observación y que las grandes teorías son el producto de una mente brillante que no tiene en cuenta el trabajo de otros científicos. Por otra parte, no se aclaran los conceptos de “postulado” y “teoría”, que se los considera, erróneamente, como sinónimo de “hipótesis”. Referido a esta cuestión, es importante aclarar que en la entrevista realizada a la docente manifiesta explícitamente: “*Nunca tuve formación en temas de Historia de la Ciencia y Epistemología en la carrera de grado ni he realizado cursos vinculados con esos temas luego de recibirme*”.

- Realiza un breve resumen de “suma” y “resta” de velocidades desde el punto de vista clásico para analizar que en la TER no se hace

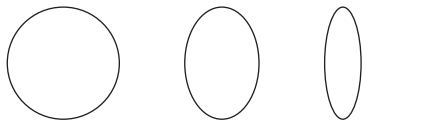
de la misma forma. Lo más destacado en este aspecto es que en ningún momento se hizo referencia explícita al concepto de “sistema de referencia”. Creemos que esto podría interpretarse de dos maneras: que la docente asume que los alumnos manejan el concepto en profundidad y no es necesario revisarlo o bien que realmente ella no lo concibe como un concepto central para abordar la TER.

- No plantea discusiones en torno al concepto de “observador” y su resignificación en el contexto de la TER.

- Realiza el planteo habitual de los libros de texto de nivel medio/polimodal para obtener la expresión matemática de “dilatación del tiempo” (utilizando el Teorema de Pitágoras, para la representación gráfica de un haz de luz que se emite entre dos espejos paralelos separados determinada distancia y son medidos los tiempos que tarda en recorrer la distancia de separación, por ejemplo dentro de una nave que se desplaza a velocidades comparables con la de la luz respecto de un observador en Tierra, y lo que mediría dicho observador). Se proponen ejercicios de aplicación con diferentes valores para la velocidad de la nave.

- Respecto de la expresión matemática para la contracción de las longitudes, no se demuestra y se plantea a los alumnos que imaginen que ocurriría: “*Si se ve pasar a un tren a alta velocidad: ¿Más chico o más grande?*”. Los alumnos dan diversas respuestas y luego la docente escribe la expresión matemática en el pizarrón.

- Se plantea que un objeto esférico que se mueve a velocidad comparable con la de la luz se “vería” por un observador en la Tierra, sucesivamente de la siguiente manera:



- Recurre frecuentemente al uso de “experimentos mentales”, sin embargo no aclara suficientemente por qué es un experimento mental.

- De manera similar a lo señalado anteriormente, analiza la denominada “paradoja de los gemelos”, se realizan algunos cálculos esti-

mativos pero no se explica en qué consiste una paradoja y cómo se resuelve.

En resumen, los elementos encontrados en esta categoría parecen dar indicios que, por una parte, la docente toma como referencia para la selección y secuenciación de contenidos el libro de texto sugerido a los alumnos por el profesor titular del curso. Por otra parte, se pueden detectar deficiencias en relación con la postura epistemológica de la docente que se reflejan en el uso que realiza de ciertos términos (como teoría e hipótesis indistintamente). A la vez, parece dar por sentado que los alumnos tienen un manejo adecuado de conceptos importantes para la comprensión de la TER y no los profundiza suficientemente (Por ejemplo: sistema de referencia, observador, rol de la medición, espacio y tiempo en la Mecánica Clásica). Tampoco aborda una de las consecuencias más destacadas de la TER como es que el concepto de “simultaneidad” dejar de ser absoluto, para depender del sistema de referencia en que el observador que la determina se encuentre. Estos resultados son consistentes con lo que hemos detectado en un estudio previo con docentes de diversos lugares del país (Arriasecq y Greca, 2004a).

En cuanto a la *Intervención del docente en el desarrollo de las clases*, el rol que permite adoptar a los estudiantes en las clases es de absoluta libertad para participar a través de preguntas, comentarios y atendiendo los diversos planteos que los alumnos realizan. Lo que pudimos observar, sin embargo, es que, cuando la docente no disponía de los conocimientos necesarios para responder las preguntas muy interesantes que surgieron en las clases intentaba que nosotros dejáramos nuestro rol de investigadores en situación de “observadores no participantes” y respondiéramos. Como hemos señalado en el marco teórico asumido, nuestra intención era no interferir en el desarrollo de la clase. Así fue, que fue consolidándose la idea de organizar una charla con un físico especialista en temas de TER, donde los alumnos pudieran plantear sus dudas. El encuentro se concretó y, tanto las preguntas planteadas en clase como las formuladas al físico nos proporcionan una información que enriquece y completa los resultados

obtenidos al focalizarnos en la actuación del docente. Transcribimos a continuación algunos de los comentarios, preguntas y reflexiones de los alumnos que nos parecen más representativos del interés que despertó el tema en ellos y cuáles son los conceptos que, desde nuestro punto de vista, no les han quedado claros. Para los ejemplos que se presentan, seguiremos el orden de los aspectos que mencionamos como representativos de la actuación del docente en las clases.

Respecto de los postulados y el ejemplo del reloj colocado en la primera clase, algunos alumnos plantearon: “*Si se pudiera superar la velocidad de la luz... entonces el reloj mediría tiempos negativos*”. “*¿El tiempo no pasa... o pasa y no lo podemos medir?*”. “*¿El tiempo es independiente de lo que se mide?*”. “*El tiempo biológico es el nuestro y ese no se detiene; se detiene o transcurre diferente el del universo*”. “*¿Por qué no puede superarse la velocidad de la luz?*”. “*¿Por qué la Naturaleza impone un límite a la velocidad de la luz?*”.

Esto muestra las dificultades de los estudiantes en comprender el concepto de “tiempo”, que en clase fue superficialmente tratado, básicamente con énfasis en la formulación matemática de este concepto en la TER, sin profundizar en el cambio ontológico que el mismo implica respecto de la concepción clásica, que por otra parte nunca se analiza y se trabaja con las nociones intuitivas que los alumnos tienen de dicho concepto.

Cuando la docente les plantea una situación típica de movimiento relativo de mecánica clásica y les propone cambiar uno de los móviles por un haz de luz que se mueve respecto de un observador e interroga a los alumnos qué ocurre con la suma o resta de velocidades, coinciden las respuestas en que: “*Sumar no se puede... pero, ¿por qué no se puede restar?*”

Respecto del análisis de la paradoja de los gemelos, los alumnos comentaron, por ejemplo: “*¿Eso (que el tiempo medido por cada ge-*

*melo es diferente) pasa realmente? “Yo no creo que el tiempo transcurra distinto para cada uno de ellos”*. La docente trabajó la paradoja siguiendo exactamente el planteo del libro de texto, pero, nuevamente aparece la misma dificultad: si los alumnos no logran ubicarse en diferentes sistemas de referencias para plantear el problema y si no tienen claro en qué sistema el tiempo se dilata, no es posible que puedan interpretar cómo la paradoja deja de ser tal.

En cuanto a las actividades propuestas a los alumnos, son o bien ejercicios de aplicación, donde simplemente deben reemplazar un valor en una expresión matemática como la de dilatación del tiempo o contracción de la longitud, o “enunciar los postulados de la TER”, “explicar en qué consiste la paradoja de los gemelos”. Este tipo de actividades parecen poco fructíferas para explorar las ideas que los alumnos van desarrollando sobre el tema, y, a su vez, pueden estar indicando la propia dificultad de la docente con el tema, quien en la entrevista explícitamente afirmó no haber cursado ninguna materia o curso que contemplara la TER.

La evaluación que la docente realizó a los alumnos al finalizar el tema TER constaba de dos partes bien diferenciadas. Por un lado los alumnos debieron realizar un mapa conceptual que sintetizara los principales aspectos referidos a la TER y su comprensión de los mismos, de modo que pudieran establecer una jerarquía de los conceptos más relevantes y las principales relaciones entre ellos<sup>2</sup>. Por otra parte se les solicitó responder una serie de preguntas abiertas que les permitían expresarse libremente en cuanto a dudas o dificultades que ellos tuvieron para abordar la TER y que, al mismo tiempo, intentan identificar algunos aspectos históricos - epistemológicos vinculados con la teoría, que los alumnos podrían no haber considerado relevantes como para incluirlos en el mapa conceptual<sup>3</sup>.

Con respecto a las preguntas abiertas, exis-

2. Cabe destacar que ese grupo de alumnos estaban habituados a utilizar en diversas asignaturas los mapas conceptuales que, desde la perspectiva de la investigación, y como sugieren Novak y Gowin (1999), permite analizar la profundidad de las relaciones conceptuales establecidas por los alumnos al finalizar el tema, como así también indagar sobre posibles relaciones que, desde el punto de vista de un aprendizaje significativo, sería deseable lograr y no fue posible.
3. Esta evaluación fue básicamente propuesta por el investigador que estaba asistiendo a las clases (primer autor de este trabajo) y negociada con la profesora del curso.

ten respuestas coincidentes en los siguientes aspectos:

- La TER despierta mucho interés en los alumnos.

- Interpretan el concepto de “teoría” como “hipótesis” no verificada, o mera especulación teórica: “La TER existe, pero no existen demostraciones o experimentos físicos que demuestren la verdad o falsedad de la misma”

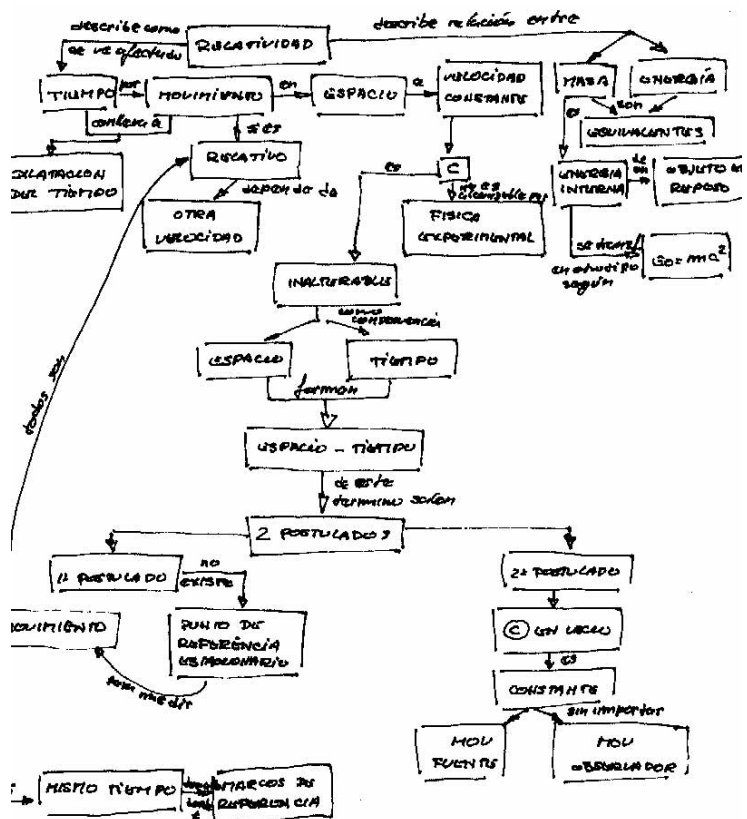
- Lo que más les sorprende de la TER son las consecuencias respecto del espacio y el tiempo y, al mismo tiempo, son esos conceptos los que les resulta difícil de comprender: “Lo que me pasa con la TER es que no logro terminar de razonar el tema, es decir, entiendo los conceptos y su relación entre ellos, pero no termino de entender claramente el tema”.

El análisis de los mapas conceptuales realizados por los estudiantes se centró en los conceptos seleccionados por los alumnos como relevantes y las conexiones que establecieron entre los mismos (el análisis detallado aparece en Arriasecq, Greca y Stipcich, 2004). Cabe

aclarar que en nuestro estudio nos hemos centrado en el aspecto cinemático de la TER, si bien en los mapas pueden observarse conceptos de dinámica, que la docente abordó en las clases.

El análisis de estos mapas muestra en relación con las relaciones conceptuales establecidas por los estudiantes que si bien se identifican conceptos relevantes para la TER, no se plantean relaciones significativas. Puede observarse, a modo de ejemplo, que en el mapa 1 se mencionan conceptos como “sistema de referencia”, y “observador” y, sin embargo no se los relaciona con los conceptos de espacio y tiempo. Por otra parte, aunque sean identificados conceptos relevantes para la TER, las jerarquías establecidas entre ellos no son apropiadas. Los mapas conceptuales 1 y 2 (Fig. 1 y 2) lo evidencian. Este resultado aparece en la mayoría de los mapas analizados. En relación a las concepciones epistemológicas, los postulados de la TER son interpretados como consecuencia de la contracción del espacio y la di-

Figura 1:  
Mapa conceptual 1







mental. En 4 mapas se manifiesta esta interpretación. Sirven a modo de ejemplo los mapas conceptuales 1 y 2 (Fig. 1 y 2), donde se plantea que la TER *describe* en lugar de *explicar*. El concepto de *postulado* no es interpretado correctamente. Si bien en todos los mapas aparece el concepto de postulado, no queda claro cuál es la interpretación que el alumno le otorga, ya sea porque se da el caso del resultado mencionado en el punto anterior o porque no utilizan conectores que indiquen cuál es la relación que establecen entre ese concepto y los demás. Ocurre en 10 mapas y el mapa conceptual 3 es un ejemplo de ello. Además, aunque se incluyen en los mapas los postulados de la TER, no se los vincula con otros conceptos de la misma. También ocurre en 10 mapas. Como ejemplo el mapa conceptual 3 (Fig. 3). Por último, los alumnos no mencionan repercusiones de la teoría dentro y fuera de la Física. Los escasos mapas que mencionan alguna repercusión, es dentro de la propia Física y vinculado quizás más con cuestiones de “ciencia-ficción” como *viajes espaciales* (mapa 2, Fig. 2).

Como ya hemos mencionado, los resultados de nuestros estudios anteriores indicaban que los docentes consideran que la principal dificultad para aprender significativamente la TER son los conceptos previos que el alumno debiera haber construido. Sin embargo, en las clases que hemos observado la docente no enfatizó, y en algunos casos ni siquiera mencionó, conceptos como simultaneidad, sincronización de relojes y discusiones respecto de tiempo y espacio en mecánica clásica, conceptos previos indispensables para un aprendizaje significativo de la TER. Este aspecto parece ser coherente con los resultados de las evaluaciones realizadas a los alumnos al finalizar el tema: esos conceptos no aparecen en sus mapas conceptuales y, además, en las preguntas abiertas mencionan “*no haber entendido del todo el tema*”.

Como señala Moreira (1999), el análisis de los mapas conceptuales es netamente cualitativo y quien procure obtener información de los mismos debe intentar interpretarlos con el objetivo de identificar si, quien lo elaboró, realizó un aprendizaje significativo del tema en

cuestión. Para eso es necesario que el mapa se acompañe de la explicación correspondiente. En nuestro caso de estudio, las escasas explicaciones realizadas en forma escrita por los alumnos, no aportaron datos significativos al “esquema” del mapa. Se restringieron a “explicitar” proposiciones, pero no aparecieron relaciones significativas importantes entre los conceptos de interés para la TER. El conocimiento de la técnica de los mapas conceptuales por parte de los alumnos por sí misma no garantiza que puedan independizarse del contenido en cuestión. Por eso creemos que, aunque estos alumnos sabían elaborar mapas conceptuales, en esta ocasión no han logrado buenos resultados –en el sentido de no haber podido subordinar conceptos específicos a proposiciones que contemplan conceptos más generales y de establecer nuevas relaciones entre conceptos ya conocidos– debido a que los mismos no realizaron un aprendizaje significativo de la TER, como lo muestran también los otros datos obtenidos del estudio.

En nuestra opinión, las respuestas de los alumnos en la evaluación, así como las intervenciones realizadas en las clases son coherentes con la forma en que la docente abordó el tema. Es decir, su énfasis estuvo en el aspecto matemático de la TER, sin realizar un análisis más profundo que contemple aspectos relacionados con el surgimiento de la misma (época, contexto científico, problemas sin resolver en la Física), proporcionarles información respecto de las comprobaciones experimentales de la misma, y fundamentalmente creemos indispensable una discusión previa de conceptos que se asumen como interpretados de la misma manera por todos, por vincularse con cuestiones cotidianas, como son “espacio” y “tiempo”, que deriva indefectiblemente en redefinir – o incluso plantear por primera vez – conceptos como “observador” y “medición” y realizar una revisión en profundidad del concepto de “sistemas de referencia”. En síntesis, sin un manejo real y profundo de aspectos de Física clásica es muy poco probable, que los alumnos logren una comprensión conceptual científicamente correcta de los aspectos más relevantes de la TER.

Resulta interesante destacar que pese al en-

tusiasmo mostrado por los estudiantes por el tema, y reconocido en la entrevista la profesora: *“Sin duda que los alumnos se entusiasmaron con el tema, cosa que no es habitual que suceda con la mayoría de los temas de Física. De hecho cuando fuimos a la charla que les dio el físico estuvieron dos horas prestando atención y no lo dejaban ir preguntando y preguntando...”* manifestó que no lo daría nuevamente, al menos en los colegios que no son privados: *“Para dar el tema TER en el nivel polimodal vos necesitas que los alumnos tengan una cierta formación que en la escuela estatal tal como está la situación actualmente no lo puedes lograr por falta de tiempo. Hay que dar “toda” la Física en dos años de polimodal (en el mejor de los casos que tengan orientación en Naturales). Empezás de “cero” en Física, porque por más que, Ministerio dice que debe comenzarse con contenidos de Física en octavo y noveno año ... sabemos que en la realidad no es así porque lo dan generalmente profesores de Cs. Naturales que dan Biología y Química. Cuando tenés que dar todo los contenidos y te falta tiempo dejás de lado temas como TER, que más allá del entusiasmo que le genere no les va a servir para la universidad”.*

Más allá del interés manifestado por los alumnos, la docente parecería no considerar relevante abordar el tema. Sin bien coincidimos en su apreciación respecto de la falta de tiempo para abordar “todos” los contenidos de Física que propone el Ministerio de Educación, siempre se realiza un recorte de los mismos con diferentes criterios. El argumento de la universidad no nos parece sustancial, dado que en ese nivel de enseñanza los temas se abordan sin presuponer conocimientos de Física, sino un adecuado manejo de herramientas matemáticas. Más bien parece que las decisiones de dejar de lado temas como TER se basan en la falta de formación de los docentes en estos temas.

En resumen, los resultados encontrados en este estudio de caso parecen, por una parte, confirmar nuestras suposiciones y resultados de estudios anteriores en relación a cómo el nivel de conocimiento de los profesores del nivel polimodal en el tema TER influye en sus decisiones metodológicas al abordar este tema

– básicamente guiadas por el seguimiento del libro de texto – y, por otro lado, cómo estas decisiones influyen no sólo en la comprensión de los alumnos sino en las visiones epistemológicas que van adoptando. Obviamente estos resultados no son novedosos en la educación en general, pero sí consideramos que lo son para este tema en particular, dado que no se encuentran estudios en la literatura acerca de cómo el libro didáctico influye efectivamente en las situaciones abordadas en el aula.

### Comentarios finales

Los resultados que hemos presentado, que coinciden con los obtenidos en otros países sobre el mismo tema, muestran las dificultades que pueden estar presentes para una efectiva incorporación de la TER al nivel de enseñanza medio / polimodal. Sin embargo, creemos que sí es posible abordar este tema para este nivel, dado que, en principio, existe uno de los componentes fundamentales que Ausubel (1991) menciona como una condición indispensable para el aprendizaje significativo: *el interés de los alumnos por el tema*. Considerando las características de la etapa que hoy transita la educación en Argentina, no es un hecho menor lograr mantener el interés del alumno en un tema de Física. Obviamente que sólo con eso no alcanza, ya que aunque también exista una fuerte predisposición del docente para abordar un tema, es necesario que éste posea una adecuada formación en el mismo. Si esto no ocurre, como parecen mostrar los resultados de nuestros estudios, recurre al libro de texto, por lo general del mismo nivel que utilizan los alumnos. Como ya hemos señalado, los textos disponibles para los profesores en Argentina reproducen de manera sintetizada sólo los aspectos técnicos o matemáticos de los textos universitarios sin analizar los aspectos conceptuales clave para un abordaje que permita un aprendizaje significativo por parte de los alumnos de, al menos, los elementos más relevantes que constituyen los fundamentos y consecuencias de la TER.

Partiendo de esta realidad y del presupuesto que es posible y necesario realizar, en el ni-



vel medio/polimodal de enseñanza, una introducción de contenidos de Física contextualizada, apropiada desde el punto de vista conceptual y motivante para propiciar un aprendizaje significativo en los estudiantes, parece ser necesario la elaboración de material didáctico que podrían utilizar tanto docentes como alumnos. Este material debería presentar una

discusión profunda de los aspectos conceptuales relevantes de la TER a partir de los aportes de investigaciones en el área de enseñanza de la física. De esta forma se podría cubrir la brecha entre “querer” abordar un tema nuevo y “contar con los recursos necesarios para hacerlo”.

## Referencias

- Aleman Berenger, R. A. (1997). Errores comunes sobre relatividad entre los profesores de enseñanza secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (3), pp. 301–307.
- Aleman Berenger, R. y Pérez Selles, J. (2000). Enseñanza por cambio conceptual: de la Física Clásica a la Relatividad. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (3), pp. 463–471.
- Angotti, J. A., Caldas, I. L., Delizoivov, D., Rüdinger, E y Pernambuco, M. (1978). Teaching relativity with a different philosophy. *American Journal of Physics*, 46 (12), pp. 1258-1262.
- Arriasecq, I. y Greca, I. (2002). Algunas consideraciones históricas, epistemológicas y didácticas para el abordaje de la teoría de la relatividad especial en el nivel medio y polimodal. *Ciência & Educação*, 8 (1), pp. 55-69.
- Arriasecq, I. y Greca, I. (2004).
- \_\_\_\_\_ a) Enseñanza de la teoría de la relatividad especial en el ciclo polimodal: dificultades manifestadas por los docentes y textos de uso habitual. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), Artículo 7. <http://www.saum.uvigo.es/reec>
- \_\_\_\_\_ b) Análisis de algunos aspectos de la enseñanza de la Teoría de la Relatividad Especial en el nivel polimodal argentino a partir de un estudio de caso. Presentación oral en *II Encuentro Iberoamericano sobre Investigación básica en Educación en Ciencias*. Universidad de Burgos, España.
- Arriasecq, I. y Greca, I. (2005). Analysis of Special Relativity topics in high and university textbooks used in Argentina, enviado a referato a la revista *Science & Education*.
- Arruda, S. y Villani, A. (1996). Sobre as origens da relatividade especial: relações entre quanta e relatividade em 1905. *Caderno Catarinense*, 13 (1), pp. 32–47.
- Aubrecht, G. J. (1989). Redesigning courses and textbooks for the twenty - first century. *American Journal of Physics*, 57 (4), pp. 352-359.
- Bardin, L. (1986). *Análisis de contenido*. Madrid : Ed. Akal.
- Capuano, V. y otros (1997). Física Moderna: ausente en la escuela media. *Memorias de REF X*, p. 2c-03.
- Contemporary Physics Education Project (1998). Internet: <http://www-pdg.lbl.gov/cpep.html>.23.
- De La Torre, A. (1998). Reflexiones sobre la enseñanza de la Física Moderna. *Educación en Ciencias*, 11 (4), pp. 70-71.
- Fermilab (1998). Discovering the nature of nature. Internet: <http://www.fnal.gov/fermilab.23>
- Gil, D. et al (1988). La ecuación más famosa de la Física: una incomprendida. *Revista Española de Física*, 2, pp. 53-55.
- Gil Perez, D. y Solbes, J. (1993). The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, 15 (5), pp. 255-260.
- Gil Perez, D., Senent, F. y Solbes, J. (1998). Análisis crítico de la introducción de la física moderna en la enseñanza media. *Revista de Enseñanza de la física*, 2(1), pp. 16-21.
- Hewson, P. W. (1982). A case study of conceptual change in special relativity. The influence of prior knowledge in learning. *European Journal of Science Education*, 4 (61), pp. 61-78.
- Hodson, D. (1986). Philosophy of Science and Science Education. *Journal of Philosophy of Education*, 20 (2).
- Holcomb, D. (1997). Criterios para una actualización de los currículos de física en todos los niveles. *Memoria del VI Conferencia Interamericana sobre Educación en la Física*.
- Holton, G. (1982). *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein*. Madrid: Alianza Editorial.
- Holton, G. (1996). Einstein, Michelson and the Crucial experiment. En *Thematic origins of scientific*

- thought*. Cambridge : Harvard University Press, , pp. 261-353.
- Ireson, G. (1996). Relativity at A-level: a looking glass approach. *Physics Education*, 31(65), pp. 356-361.
- Kalmus, P. (1992). Particle physics at A-level - the universities' viewpoint. *Physics Education*, 27(2), pp. 62-64.
- Kragh, H. (1989). *Introducción a la historia de la ciencia*. Barcelona: Crítica.
- Loma, C. (1999). *El tiempo cosmológico*. Madrid: Síntesis.
- Lombardi, O. (1997). La pertinencia de la Historia en la enseñanza de ciencias: argumentos y contrargumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), pp. 343-349.
- Mach, E. (1949). *Desarrollo histórico crítico de la Mecánica*. Bs. As.: Espasa-Calpe.
- Matthews, M.R. (1994). Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp. 255-277.
- Mook, D. y Vargish, T. (1998). *La Relatividad: espacio, tiempo y movimiento*. España: Mc Graw Hill.
- Moreira, M. (2000). *Reporte final de la VII Conferencia Interamericana sobre Educación en Física*. Canela, Porto Alegre, Brasil.
- Novak y Gowin (1999). *Aprendiendo a Aprender*. España: Ediciones Martínez Roca Barcelo.
- Ostermann, F. y Moreira, M. (1998). Tópicos de física contemporânea na escola média brasileira: um estudo com a técnica Delphi, en *Atas Encontro de pesquisa em ensino de física*, Florianópolis: Imprensa UFSC.
- Ostermann, F. y Moreira, M. (2000). Física Contemporânea en la escuela secundaria: Una experiencia en el aula involucrando formación de profesores, *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), pp. 391-404.
- Panse, S.; Ramadas, J. y Kumar, A. (1994). Alternative conceptions in Galilean relativity: frames of reference, *International Journal of Science Education*, 16(1), pp. 63-82.
- Pérez, H. y Solbes, J. (2003). Algunos problemas en la enseñanza de la relatividad. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), pp. 135-146.
- Posner, G. J.; Stike, K. A.; Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), pp. 211-227.
- Ramadas, J.; Barve, S. y Kumar, A. (1996). Alternative conceptions in Galilean relativity: distance, time, energy and laws, *International Journal of Science Education*, 18(4), pp. 463-477.
- Ricci, T. (2000). *Teoria da Relatividade especial*. Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS.
- Saltiel, E. y Malgrange, J. L. (1980). Spontaneous ways of reasoning in elementary kinematics. *European Journal of Physics*, 2, pp. 73-80.
- Scherr, R. E. (2001). *An investigation of student understanding of basic concept in special relativity*. Ph. D. Dissertation, Department of Physics, University of Washington.
- Solbes, J. (1986). *La introducción de conceptos básicos de física moderna*. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia.
- Stannard, R. (1990). Modern Physics for the young. *Physics Education*, 25(3), pp. 133.
- Swinbank, E. (1992). Particle Physics: a new course for schools and colleges. *Physics Education*, 27(2), pp. 87-91.
- Terrazzan, E. A. (1992). A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 9(3), pp. 209-214.
- Travers, R. (Ed.) (1973). *Second Handbook of Research on Teaching*. Chicago: Ran McNally.
- Villani, A. (1981). O confronto Lorentz-Einstein e suas interpretações (partes I, II, III, e IV). *Revista de Ensino de Física*, 3 (1, 2, 3 y 4).
- Villani, A. (1985). A visão eletromagnética e a Relatividade (partes I e II). *Revista de Ensino de Física*, 7 (1 y 2).
- Villani, A. y Arruda, S. (1998). Special Theory of Relativity, Conceptual Change and History of Science, *Science & Education*, 7, pp. 85-100.
- Villani, A. y Pacca, J. (1987). Students' Spontaneous Ideas about the Speed of Light. *International Journal of Science Education*, 9 (1), pp. 55-65.
- Villani, A. y Pacca, J. (1990). Spontaneous Reasoning of Graduate Students. *International Journal of Science Education*, 12 (5), pp. 589-600.
- Wilson, B. (1992). Particle physics at A-level- a teacher's viewpoint. *Physics Education*, 27(2), pp. 64-65.