

Enseñanza de la teoría de la relatividad especial en el ciclo polimodal: dificultades manifestadas por los docentes y textos de uso habitual

Irene Arriassecq¹ e Ileana Greca²

¹NIECyT, Facultad de Ciencias Exactas, UNCPBA, Argentina. E-mail: irenearr@exa.unicen.edu.ar. ²Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: ileana@if.ufrgs.br

Resumen: En este trabajo se analizan el diseño de una encuesta, su implementación y los resultados obtenidos con docentes que se desempeñan en el nivel medio de enseñanza (polimodal). El objetivo consiste en indagar las dificultades con que se han enfrentado quienes han abordado en el aula el tema de la teoría de la relatividad especial (TER), los conceptos previos que consideran necesarios que el alumno haya aprendido y los textos que habitualmente consultan para preparar sus clases, como así también los que recomiendan a sus alumnos. En el caso de los docentes que nunca han desarrollado el tema en el ciclo polimodal, se pregunta acerca de los aspectos que consideran podrían ser conflictivos desde el punto de vista de la enseñanza y el aprendizaje y respecto de los textos que consultarían tanto para la preparación de sus clases como los que recomendarían a los alumnos.

Palabras clave: teoría de la relatividad especial, docentes de física de enseñanza media/polimodal, libros de texto.

Title: Teaching special relativity theory in polimodal cycle: difficulties expressed by teachers and common use texts.

Abstract: This paper analyzes a survey design, implementation and results achieved with teachers working in high school level. The objective is to inquire into the difficulties the teachers have faced with when they addressed in the classroom the subject of special relativity theory (SRT), the previous concepts they may deem necessary that students would have learned and texts usually consulted to prepare their classes, as well as those who recommend to their students. In the case of teachers who have never developed the theme in high school level, it wonders about the aspects they consider could be controversial from the standpoint of teaching and learning and about texts that they would consult both to prepare their classes as they would recommend to students.

Keywords: special relativity theory, high school physics teacher, textbooks.

Introducción

Este trabajo tiene por objetivo indagar las dificultades con que se han enfrentado los profesores que han abordado en el aula el tema de la teoría

de la relatividad especial (TER) en el ciclo polimodal¹, los aspectos que consideran más conflictivos, desde el punto de vista de la enseñanza y el aprendizaje y los textos que habitualmente consultan para preparar sus clases, como así también los que recomiendan a sus alumnos. En el caso de los docentes que nunca han abordado el tema TER en clases de polimodal se les pregunta acerca de las dificultades que suponen tendrían los alumnos para aprender significativamente conceptos de la TER, los textos que consultarían y los que recomendarían a sus alumnos. Este trabajo se enmarca en una investigación más amplia que pretende analizar algunas de las dificultades conceptuales, epistemológicas y psicológicas que los alumnos de enseñanza media (polimodal) deben superar para aprender significativamente los aspectos más relevantes de la TER y proponer, implementar y evaluar una propuesta didáctica con ese objetivo.

Existen diversas razones por las cuales consideramos relevante abordar la TER en el nivel medio de enseñanza (polimodal):

Existe consenso entre investigadores en enseñanza de la física respecto de la necesidad de actualizar los currículos de física, particularmente en el nivel medio/polimodal donde los conceptos físicos abordados no superan los de comienzo del siglo veinte (Gil et al., 1987; Aubrecht, 1989; Stannard, 1990; Kalmus, 1992; Wilson, 1992; Swinbank, 1992; Terrazzan, 1992; Ostermann, F. y Moreira, 2000; Holcomb, 1997; Villani e Arruda, 1998; de la Torre, 1998 y Moreira, 2000). Algunas de las varias razones que se presentan frecuentemente son: generar curiosidad en el alumno; mostrar la física como una empresa humana; permitir que los estudiantes tengan la posibilidad de incorporar a su formación científica aspectos de la física moderna y contemporánea que han generado cambios radicales en la ciencia; motivar a los estudiantes para carreras científicas; analizar conceptos físicos cuyos "nombres" conocen los alumnos a través de medios de comunicación pero cuya conceptualización suele ser científicamente incorrecta; contribuir a que el alumno construya una idea de ciencia y de las características del trabajo científico más adecuada a la real.

De los diversos temas que forman parte de la física moderna², creemos que uno de los más relevantes es la TER. En el caso particular de la Argentina, es la teoría más conocida por los estudiantes como referente de la Física, y la que más les interesaría aprender (Capuano et. al., 1997). En el caso de Brasil, se realizó una investigación con el objetivo de analizar que temas de física moderna y contemporánea deberían ser enseñados si se pretendiera actualizar los currículos dando como resultado que la TER fue uno de los tópicos elegidos por el grupo de físicos, investigadores en enseñanza de la física y profesores de física que respondieron la encuesta (Ostermann y Moreira, 1998). En otros países la TER también aparece como

¹A partir de 1992 se implementó una reforma educativa en la República Argentina, pasando de una estructura que diferenciaba el *nivel primario* (siete años de escolaridad) del *secundario* (cinco años de escolaridad) a otra en la que la *educación general básica* (EGB) se extiende a 9 años a los que se agregan tres años de escolaridad secundaria denominado *polimodal* y que reemplaza al ciclo superior de educación media.

²Denominaremos como Física Contemporánea a la Física desarrollada durante el siglo XX, siguiendo el uso corriente en la Filosofía de la Ciencia. En este ámbito, se aplica la denominación de Física Moderna a la física desarrollada durante la Edad Moderna (siglos XVII e XVIII), aunque cabe aclarar que no existe consenso al respecto. Así, por ejemplo, algunos autores adoptan el criterio de usar "ciencia moderna" para la Física desarrollada en la Edad Moderna (S. XVII), y "Física Moderna" para a Mecánica Cuántica, en contraposición a la idea de Física Clásica.

tema relevante a enseñar (Gil et. al., 1988; Ireson, 1996; Contemporary Physics Education Project, 1998; Fermilab, 1998).

Como señala Holton (1996), ciertos avances en la ciencia pueden tener importantes consecuencias fuera de la misma al punto tal de generar grandes cambios en la cultura de determinada época. De la misma manera que la mecánica y óptica newtoniana influyeron en artistas, pensadores, filósofos y hasta políticos - americanos del siglo XVIII -, algunos trabajos científicos de Einstein, entre los que se encuentran las primeras publicaciones sobre relatividad, influyeron fuertemente en diversos aspectos de la cultura en áreas como filosofía, artes visuales o literatura. El incorporar estos aspectos contextualiza el conocimiento científico, mostrando que no es una actividad aislada y que puede modificar aspectos de la realidad insospechados. Esto es, que las grandes producciones del ámbito científico, no quedan circunscriptas al propio ámbito y pueden llegar a influenciar otros contextos. Sin embargo, es poco probable que estos interesantes vínculos puedan ser establecidos por los alumnos sin la mediación escolar y/o el docente no estimula una reflexión en este sentido (Arriassecq y Greca, 2002).

La TER se propone en los planes ministeriales de la Argentina como tema en Física de segundo año de los Polimodales con orientación en Cs. Naturales (Documento del Consejo General de cultura y Educación de la Pcia. de Bs. As., 1999).

Desde el punto de vista de la enseñanza de las ciencias, la TER es un tema particularmente rico dado que los primeros contactos de los alumnos con el mismo implican, o deberían implicar, un verdadero punto de inflexión en el conocimiento de la Física, pues lo que puede haber de continuidad entre la física clásica y la relativista es menos relevante que aquello que las diferencia. Esto plantea un interesante desafío para los docentes que intenten abordar la TER en el nivel polimodal, dado que ya no es posible recurrir a la intuición, que suele desarrollarse a partir de las experiencias que los individuos tienen con sistemas físicos clásicos, para comprender conceptos relativistas (de la Torre, 1998). Sin embargo, creemos que las dificultades didácticas, que seguramente surgirán en el intento, no deberían tomarse como excusa para descartar la incorporación de la TER en el ciclo polimodal. Acordamos con Moreira (2000) en que argumentos tales como que la TER es demasiado "abstracta" o que los alumnos "no están preparados" no son válidos, ya que también es abstracta la mecánica clásica que suele enseñarse. Por otra parte, años de investigación en concepciones de los alumnos en temas de mecánica clásica, demuestran que los alumnos también tienen dificultad en construir modelos acordes científicamente correctos.

A partir de una exhaustiva revisión bibliográfica que incluye artículos de investigación, actas de congresos y tesis en enseñanza de la física se encuentra que algunas propuestas de incorporación de la TER en el nivel medio de enseñanza han aparecido en los últimos años (por ejemplo Saltiel and Malgrange, 1980; Hewson, 1982; Villani y Pacca, 1987 y 1990; Bertali et al., 1979, Solbes, 1986, G.I.R.E.P., 1991 y Borghi et. al. 1993 en Villani y Arruda, 1998; Scherr, 2001), aunque son divergentes los resultados de estas implementaciones.

En la búsqueda de como incorporar la TER en la enseñanza de nivel medio (Polimodal), un aspecto importante, que hasta el momento ha sido escasamente estudiado, es el del análisis de los libros de texto que utilizan tanto docentes como alumnos. Rodríguez y Pietrocola (1999), analizaron el resultado de la transposición didáctica de la TER en libros de física para el nivel medio de enseñanza y encontraron que, en el momento del estudio, sólo dos obras brasileñas abordaban el tema, en los cuales parecería que los autores toman como referencia para el contenido a artículos de divulgación y textos universitarios. Además, los autores señalan que, como la TER no está contemplada en los contenidos curriculares, en los textos se la suele presentar como un anexo y que un tratamiento superficial de la misma podría generar en los lectores conceptos científicamente inadecuado. En otra investigación realizada en España por Pérez y Solbes (2003), se analizan, entre otras cuestiones, aspectos epistemológicos, históricos y conceptuales referidos a la TER en docentes y alumnos de profesorado. Encontraron que los profesores en su práctica habitual introducen conceptos de la TER de forma acrítica y poco reflexiva desde orientaciones epistemológicas distorsionadas y sin tener en cuenta los resultados de la investigación didáctica; un porcentaje muy escaso de docentes propone una estrategia coherente con un hilo conductor claro para la introducción de la TER y aparecen expresiones y frases que revelan un desconocimiento profundo de los aspectos centrales de la teoría. Otro aspecto que estos autores analizaron fue cómo se incorpora la TER en 30 libros de texto, de reciente edición en España, para el nivel ESO y primero y segundo año de bachillerato. Encontraron que los conceptos de espacio y tiempo no se presentan adecuadamente (nivel ESO) y la TER se plantea de manera poco clara y sin tener en cuenta los preconceptos de los alumnos.

A partir del análisis de las investigaciones existentes hasta el momento, consideramos relevante realizar un estudio sobre los libros de texto que utilizan tanto docentes como alumnos en Argentina dado que la efectiva incorporación curricular está fuertemente influenciada por los contenidos que aparecen en los libros didácticos que los profesores utilizan como referencia. Como se sabe, los docentes, y también los alumnos, tienden a utilizar los libros de texto como uno de los principales recursos en el proceso de enseñanza – aprendizaje: *“el libro escolar impregna las prácticas, transmite contenido, organiza las experiencias de los alumnos, establece tipos de interacción, y todo eso lo hace con una enorme fuerza legal”* (Litwin, 1997). Existen numerosos estudios que analizan cómo los libros de texto condicionan el aprendizaje del alumno (Alexander et. al., 1994; Concari et. al. 1999; Portolés, 1993; Tulip y Cook, 1991 en Concari y Giogi, 2000) y se sabe que el docente, además de elegir los textos que él mismo consulta, condiciona fuertemente los que utiliza el alumno.

Con el objetivo de analizar cuáles son los textos que los docentes utilizan habitualmente en su práctica docente y cuáles recomiendan a sus alumnos, se diseña una encuesta, se implementa y se analizan los resultados obtenidos con docentes que se desempeñan en el nivel medio de enseñanza (polimodal). La encuesta consta de dos partes: por una parte se indaga respecto de los libros de texto y por otra parte, como ya se mencionó, respecto de las dificultades en la enseñanza y el aprendizaje de la TER. (El análisis de los libros de texto que manifestaron utilizar y/o recomendar los

docentes se está realizando actualmente, y no se aborda en este trabajo.).

Metodología

Selección de la muestra

Los docentes que participaron de la encuesta han sido seleccionados por cumplir determinadas características que resultan de interés para nuestra investigación: son personas preocupadas por su formación permanente, receptivos a cursos de capacitación e interesados por los aportes provenientes de la investigación en enseñanza de la ciencia. Asumimos que estas características son importantes porque las respuestas que brinden en la encuesta estarán posiblemente condicionadas por esos factores. Por lo general, si el docente se interesa por los aportes provenientes de la investigación, también suele tener "mejor" predisposición para responder una encuesta. Si se preocupa por estar actualizado y completar su formación profesional, es probable que dentro de sus posibilidades asista a cursos de capacitación y conozca una amplia gama de bibliografía de su especialidad, además de interesarse por la incorporación de temas actuales a su práctica profesional. A partir de estos presupuestos decidimos encuestar a un grupo de docentes que participaron de REF XII³ y de un curso de perfeccionamiento en tópicos de Física y de Investigación en Enseñanza de la Física que se realizó en la ciudad de Tandil, provincia de Bs. As. en la Facultad de Cs. Exactas de la UNICEN en julio del 2002.

Diseño del instrumento

Se elaboró un cuestionario (en anexo) con el objetivo de abordar el tema desde una perspectiva exploratoria y sondear opiniones. Consta de dos ejes: en el primero, preguntas 1 a 5, 9, 10 y 16 se indaga acerca del rol del libro de texto en la preparación de las clases por parte del docente (pregunta 1), de los textos más utilizados por los docentes de nivel polimodal y los que recomiendan a sus alumnos con el objetivo de analizar posteriormente, en el marco de una investigación más amplia, de qué manera se aborda la TER en los mismos. Con las preguntas 2 a 5 se obtiene información descriptiva y concreta respecto de los textos más conocidos y utilizados por los docentes de Física. Específicamente en la pregunta 5 las opciones de respuesta han sido determinadas a priori mediante la selección de algunos textos considerados como "clásicos" en el nivel polimodal en el sentido de ser, o haber sido, consultados habitual u ocasionalmente durante años por un gran número de docentes y otros textos que, siendo de edición más actual, se han impuesto en la comunidad docente. Esta se obtuvo mediante una encuesta previa, realizada entre docentes de diversas provincias del país. Se indaga acerca de textos "clásicos", y no solo los que efectivamente se utilizan, asumiendo que aquellos docentes que nunca han abordado el tema TER podrían recurrir a textos que conocen además de los que habitualmente utilizan. Con las preguntas 9, 10 y 16 se obtiene

³Las REF (Reunión de Educadores en Física), son eventos bianuales que se realizan en la República Argentina desde hace 20 años y tienen como objetivos principales:

- Brindar a los docentes de ciencias y en especial a los de Física de todos los niveles, la posibilidad de actualizar y profundizar su formación profesional.
- Estrechar vínculos entre los docentes e investigadores en Física y su enseñanza en todos los niveles educativos, promoviendo el intercambio de experiencias áulicas, de investigación, de desarrollo, etc..
- Promover la discusión permanente sobre la educación científica que se imparte en el país para diseñar acciones tendientes a su mejoramiento en todos los niveles.

información respecto de los textos específicos que los docentes consultaron para abordar la TER en el polimodal y los que consultarían si nunca lo han hecho y debieran hacerlo.

El segundo eje de análisis está constituido por preguntas abiertas que pretenden obtener información respecto de: si la TER ha sido un tema abordado en la formación de grado de los docentes (pregunta 6), si han realizado algún curso de perfeccionamiento en ese tema (pregunta 7) y si han tenido que abordar el tema en sus clases de nivel polimodal (pregunta 8). Si la respuesta a la pregunta 8 es afirmativa, se indaga acerca de los libros de texto que han utilizado los docentes para preparar sus clases (pregunta 9), los que recomiendan a sus alumnos (pregunta 10), las dificultades de los alumnos que manifiestan los docentes haber detectado al abordar el tema TER (pregunta 11), acerca de la relevancia del tema en los planes de estudio (pregunta 12), de los conceptos previos que los alumnos deberían manejar antes de abordar la TER (pregunta 13), en qué etapa del ciclo polimodal sería adecuado para el docente que se trabajara el tema (pregunta 14) y cuál considera que sería el aporte para el alumno el aprendizaje de la TER (pregunta 15). Si nunca han trabajado el tema a nivel polimodal se pregunta a los docentes acerca de los textos que consultarían para abordar el tema por primera vez (pregunta 16), posibles inconvenientes que suponen tendrían sus alumnos para aprender significativamente el tema (pregunta 17) y las preguntas 18 a 21 son análogas a las preguntas 12 a 15.

Para ambos ejes del cuestionario se tuvieron en cuenta las sugerencias habituales (Ander-Egg, 1980): preguntas claras y no ambiguas, no sugerir las respuestas, referirse a un solo tema e incorporar preguntas tales que sus respuestas puedan compararse con otros estudios. También se tuvo en cuenta, a pesar de no ser decisivo, el hecho que el cuestionario no demande más de unos treinta minutos en ser respondido.

Aplicación del instrumento

La forma de aplicación del instrumento es auto administrado (Hernández Sampieri, 1997) dado que el cuestionario se les proporcionó directamente a los docentes quienes respondieron sin intermediarios. Del total de encuestas entregadas a los participantes de REF XII, fueron devueltas sólo trece, a pesar que las circunstancias se suponían favorables para aplicar el instrumento dado que en este tipo de eventos los docentes disponen del tiempo que puede demandar responder una encuesta. En el caso de los diecinueve docentes que asistieron y completaron el curso de perfeccionamiento en la UNICEN, diez devolvieron la encuesta. Creemos que es importante mencionar que varios de los docentes, ante los insistentes reclamos por la devolución de las encuestas, mencionaron que realmente estaban interesados en colaborar con la investigación pero les resultaba realmente muy difícil responderla dado que "nunca habían dado el tema" y para responder las preguntas abiertas "deberían estudiar el tema previamente" ya que "no recordaban demasiado lo que habían visto en su carrera de grado. Suponemos que una cuestión similar influyó en el caso de las entregadas en REF:

De las veintitrés encuestas que fueron devueltas, catorce corresponden a

docentes de física, la mayoría con título terciario⁴, y las restantes a profesionales que se desempeñan en el ciclo polimodal, pero sin título docente, o a alumnos del profesorado en Física.

Análisis de los datos obtenidos

El análisis de las respuestas obtenidas se realiza teniendo en cuenta los dos ejes planteados para la encuesta:

Análisis del eje 1:

La mayoría de los encuestados respondió que utiliza libros de texto como principal recurso en la preparación de sus clases (70 %) y el más consultado es "Física Conceptual" de Paul Hewitt (1995) de nivel polimodal (18 %), luego "Física" de R. Resnick (1981) de nivel universitario (12 %) y el resto se reparte entre textos de nivel polimodal como: Aristegui (2000) con 9 %, Castiglioni (1983) con 9 %, Maiztegui y Sábato (1980) con 9 %, Rela y Sztrajman (1998) con 8 % y algunos textos de nivel universitarios como: Alonso y Finn (1995) 7 %, Tipler (1996) con 6 %, Feynman (1971) con 3 % y Serway (2001) con 3 %. En cuanto a los textos recomendados por los docentes a los alumnos, coinciden con los que ellos mismos utilizan para preparar sus clases⁵.

Un gran número de encuestados ha cursado en su formación de grado alguna materia que contempla la TER (83 %), aunque no han realizado cursos de perfeccionamiento en ese tema (87 %) y tampoco han tenido que abordar el tema en el ciclo polimodal (87 %).

Los docentes que nunca han trabajado el tema TER en clase, responden que, para abordar el tema por primera vez, consultarían textos tales como: Hewitt (21 %), Tipler y Alonso-Finn con 12 %, Hetch y Maiztegui y Sábato, Rela, Santillana y Feynman con 7 %. Con porcentajes menores se mencionan textos como Castiglioni, Sears, Resnick y Serway. Los textos más consultados para abordar la TER coincidirían con los textos que manifiestan utilizar habitualmente y son esos mismos textos los que recomendarían a sus alumnos.

Los docentes que han abordado el tema TER en el nivel polimodal (sólo tres de los encuestados) menciona haber utilizado los textos: Tipler, Hewitt, Hetch y Maiztegui y Sábato por igual.

⁴Actualmente en la República Argentina existen distintos tipos de instituciones de formación de docentes:

Institutos Superiores de Formación Docente: Instituciones de nivel superior no universitario de formación de docentes para los niveles no universitarios del sistema educativo que deben haber sido acreditados previamente por un organismo pertinente y pueden realizar convenios de asistencia académica con instituciones universitarias de acuerdo con la legislación vigente en cada provincia.

Colegios Universitarios: Instituciones de nivel superior no universitarios que forman docentes para uno o más niveles del sistema educativo que hayan acordado mecanismos de acreditación y articulación de sus carreras o programas de formación con instituciones universitarias.

Institutos universitarios: Instituciones universitarias que circunscriben su oferta a una única área disciplinaria, que ofrecen carreras docentes para uno o más niveles del sistema educativo.

Universidades: Instituciones universitarias que, en el marco de su autonomía y respetando los contenidos curriculares básicos que se establezcan de acuerdo a la legislación vigente, ofrecen carreras de formación docente para uno o más niveles del sistema educativo.

⁵Aquí se mencionan sólo los autores, que es la forma habitual en que se mencionan textos conocidos dentro de un determinado ámbito académico. Las referencias completas se indican en el ANEXO 2. También cabe aclarar que varios de esos textos cuentan con diversas ediciones que son consultadas indistintamente, aunque la tendencia es consultar las últimas ediciones.

Con respecto al análisis realizado en este eje, creemos conveniente señalar que, desde el punto de vista metodológico, podría cuestionarse el hecho que el inciso 5 podría condicionar las respuestas que los docentes brindan en las preguntas anteriores, asumiendo que si el investigador coloca ciertos textos para que el encuestado de su opinión se debería a que a priori se asumen como "recomendables". Sin embargo, al analizar las respuestas anteriores a la pregunta 5, podemos comprobar que los docentes encuestados, si bien incluyen algunos de los textos mencionados en el inciso 5, admiten utilizar otros textos, muchos de nivel universitario, que no se mencionaban en la lista. De manera similar, tanto los docentes que nunca abordaron el tema como aquellos pocos que sí lo hicieron también mencionan que utilizaron o utilizarían otros textos además de los sugeridos en la encuesta. Por otra parte, el hecho el texto de Hewitt obtenga el mayor porcentaje tanto para uso habitual en clase, como específicamente como aquel que consultarían si debieran abordar el tema TER, se corresponde con que en el inciso 5 fue el texto que obtuvo también el mayor porcentaje en la opción "lo utilizo siempre" y los textos que obtuvieron porcentajes menores en las los incisos anteriores al 5 se corresponden con los mayores porcentajes en las opciones: "lo he utilizado durante algún tiempo", "lo utilizo poco" o "lo conozco pero nunca lo he utilizado". Creemos que la coherencia entre las respuestas a las cuestiones planteadas en los inciso 1 a 4 y el 5, indicaría que no existiría un condicionamiento de este último inciso sobre los anteriores.

Análisis del eje 2:

Para el análisis de este tipo de preguntas se procede a codificar las respuestas brindadas por los docentes luego de la lectura de las mismas. El proceso de codificación *"consiste en encontrar y darle nombre a los patrones de respuesta (respuestas similares o comunes), listar esos patrones y después asignar (...) un símbolo a cada patrón"* (Hernández Sampieri, 1997). Cada patrón, que puede corresponderse con diferentes palabras utilizadas por los encuestados aunque expresen la misma idea, constituye una categoría de respuesta.

Luego de la primera lectura de las respuestas a todas las preguntas abiertas se pueden establecer algunas relaciones: en las preguntas once y trece existen categorías en común (y, por lo tanto, en las preguntas diecisiete y diecinueve donde se pregunta lo mismo que en once y trece pero a los docentes que nunca han desarrollado en tema TER en el nivel polimodal). Lo mismo ocurre con las preguntas doce y quince (y con la dieciocho y veintiuno por la misma razón que se mencionó antes).

Se calcularon porcentajes de aparición relativa de categorías a partir del conteo de todas las respuestas categorizables correspondientes a las preguntas que comparten categorías y la frecuencia de aparición de determinada categoría. En el caso de las preguntas 12, 15, 18 y 21 no se calculan porcentajes de aparición de categorías dado que sólo se identificó una.

Las respuestas a la pregunta referida a las posibles dificultades de los alumnos para aprender la TER se han categorizado de la siguiente forma:

Problemas exclusivamente del alumno (4 %): La justificación que brinda el docente respecto de las dificultades en el aprendizaje se basa en cuestiones que aluden sólo al alumno (Ej.: "mucha dispersión, lo que impide que al alumno participar en clase"; "los alumnos tienen dificultades para plantear y resolver problemas matemáticos y físicos").

Carga horaria de la asignatura Física (1 %): La justificación que brinda el docente se refiere al poco tiempo que tiene para abordar sus clases (Ej.: "tiempo para preguntar y discutir dudas").

Comprensión del concepto de sistema de referencia (27 %): El docente considera relevante para el aprendizaje de la TER que el alumno elija adecuadamente los sistemas de referencia inerciales (Ej.: "establecer el sistema de referencia").

Conocimientos matemáticos insuficientes (7 %): El docente considera que la falta de ciertos conocimientos matemáticos por parte del alumno impide el aprendizaje de la TER (Ej.: "falta base matemática").

En la pregunta referida a los conceptos previos del alumno que el docente considera necesarios para el aprendizaje de la TER pueden plantearse dos grandes categorías para analizar las respuestas:

Contenidos conceptuales de Física: Formada a su vez por dos subcategorías:

Conceptos de mecánica clásica (41 %): El docente hace referencia a la necesidad que los alumnos utilicen adecuadamente nociones de "movimiento relativo", "transformadas de Galileo", "principio de relatividad de Galileo".

Conceptos de electromagnetismo (7 %): El docente hace referencia a la necesidad que los alumnos manejen conceptos como el de "onda electromagnética", "campo eléctrico" y "campo magnético".

La otra categoría es:

Contenidos procedimentales (7 %): El docente manifiesta la necesidad que los alumnos sean capaces de realizar ciertos procedimientos para comprender la TER tales como: "analizar un problema", "pensar hipótesis", "aplicar modelos matemáticos a la física".

En las respuestas a la pregunta que apunta a identificar dificultades que los alumnos podrían tener para aprender la TER desde la perspectiva de los docentes que aun no han abordado el tema en polimodal se identifican las categorías "comprensión del concepto de sistema de referencia", "conocimientos matemáticos insuficientes", y "problemas exclusivamente del alumno" de la pregunta once y "conceptos de mecánica clásica" de la pregunta trece, además de:

Cuestiones epistemológicas (3 %): El docente atribuye las dificultades de los alumnos para comprender la TER a aspectos epistemológicos que subyacen en la misma: "rotura de paradigma", "historia y filosofía del conocimiento científico".

Conceptos contra intuitivos (7 %): El docente argumenta que los alumnos tienen dificultad para comprender la TER dado que los conceptos involucrados no son "cotidianos" (Ej.: "conceptos que no se corresponden

con el mundo en que viven"; "la TER involucra conceptos muy abstractos"; "los efectos relativistas sólo resultan apreciables a velocidades próximas a las de la luz").

Las categorías que surgen del análisis de las respuestas a la pregunta referida a los conceptos previos que los docentes que no han dado nunca el tema consideran necesarios para aprender la TER coinciden con las de la pregunta trece.

La categoría más representativa para las respuestas a las preguntas que se refieren a la importancia de incorporar la TER en el ciclo polimodal, a los aportes de aprender acerca de la TER para el alumno, la relevancia del tema y la necesidad de su incorporación en los planes de estudio es:

Evolución de los modelos en Física: El docente considera es un tema relevante para ser abordado en el ciclo polimodal dado que brinda al alumno la posibilidad de analizar que las teorías físicas evolucionan en el tiempo (Ej.: "comprender que la Física no termina en Newton"; "una nueva manera de interpretar los fenómenos"; "ayuda a los alumnos a ver a la Física como una ciencia en constante avance donde los conceptos pueden modificarse ... a medida que se profundizan los estudios"; "muestra el carácter dinámico de la Física").

El hecho que las respuestas a las preguntas once, trece, diecisiete y diecinueve compartan un número importante de categorías estaría indicando que los docentes consideran que la principal dificultad para aprender significativamente la TER son los conceptos previos que el alumno debiera haber construido, opinión que compartimos. Sin embargo no aparece en las respuestas referencia a conceptos como: simultaneidad, sincronización de relojes y discusiones respecto de tiempo y espacio en mecánica clásica, que son indispensables para un aprendizaje significativo de la TER.

Los docentes consideran que el aprendizaje de la TER es relevante para el alumno y, por lo tanto, debería incluirse efectivamente en los planes de estudio de Física en el nivel polimodal. Sin embargo, al analizar las justificaciones que brindan respecto de la importancia de la TER aparece como cuestión principal que los alumnos comprendan que las teorías físicas se modifican, aspecto que es importante pero no el único dado que la TER tuvo profundas implicaciones dentro y fuera de la Física: genera un cambio revolucionario en conceptos propios de la disciplina pero también rompe con los de "sentido común", como espacio, tiempo y adición de velocidades (considerando sólo aspectos cinemáticos); permite analizar aspectos epistemológicos como producción de conocimientos acumulativa o progreso en ciencia por rupturas; permite analizar el rol de la experimentación y la influencia de los aportes de trabajos científicos anteriores en el surgimiento de nuevas teorías.

Comentarios finales

Los docentes acuerdan en que la TER es una 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 recibido instrucción formal en el tema, resultado que concuerda con lo hallado por Pérez y Solbes (2003) en España. Interpretamos este hecho asumiendo que es posible que los docentes no hayan tenido oportunidad de profundizar y reflexionar sobre los conceptos centrales implicados en la TER ya que la mayoría no ha realizado cursos de perfeccionamiento en el tema - que a nivel carrera de grado suele desarrollarse como un tema dentro de los varios analizados en una materia - y que nunca lo han tenido que abordar como docentes, lo que implica (o debiera implicar) una revisión y reelaboración del tema por parte del docente.

Por otra parte, el libro de texto parece ser el principal recurso utilizado para la preparación de clases - otro resultado que coincide con lo que ocurre en España, (Pérez y Solbes, 2003) -, fundamentalmente los de nivel polimodal, y son esos mismos textos los recomendados a los alumnos. Es relevante entonces realizar un estudio crítico de los libros de texto más utilizados por docentes y alumnos (investigación actualmente en desarrollo) en cuanto al tratamiento del tema TER, ya que la manera en que se lo aborde puede condicionar fuertemente los resultados que logren los alumnos respecto del aprendizaje de dicha teoría. Al parecer, los docentes que deban enfrentarse con la tarea de abordar el tema por primera vez recurrirán, como lo han manifestado en este estudio, justamente a esos textos como guía para sus clases y, teniendo en cuenta que en muchos casos el propio docente no ha tenido la oportunidad de reflexionar profundamente acerca de cuáles son los conceptos relevantes para comprender la teoría, es probable que "siga" el esquema presentado en el o los textos que seleccione para preparar su clase sin una reelaboración del material de acuerdo con criterios propios.

Es significativo que los docentes manifiesten utilizar para la preparación de sus clases libros del mismo nivel en el que se desempeñan, no pareciendo tener la costumbre de buscar textos de un nivel superior. Este punto es relevante dado que si los docentes no han tenido oportunidad en su formación de tratar conceptos de la TER difícilmente puedan aprenderlos en los libros que manifiestan consultar, dado que estos abordan este tema de forma muy superficial.

Sería importante que el docente tuviera la oportunidad de realizar cursos de actualización y perfeccionamiento en temas como la TER donde pudiera discutir aspectos específicamente conceptuales y, al mismo tiempo, analizar aportes provenientes de investigaciones en la enseñanza del tema que le permitirían hacer un uso más crítico de la bibliografía que habitualmente consulta. También parecería necesaria la elaboración de material didáctico que pudieran utilizar, tanto docentes como alumnos, donde se presente 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.

Referencias bibliográficas

Ander- Egg, E. (1980). *Técnicas de Investigación social*. Buenos Aires: Humanitas.

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)*, 55 - 69.

Aubrecht, G.J. (1989). Redesigning courses and textbooks for the twenty-first century. *American Journal of Physics, 57 (4)*, 352 - 359.

Capuano, V. et al. (1997). *Física Moderna: ausente en la escuela media*. Memorias de REF X, p. 2c-03.

Concari, S. y S. Giorgi (2000). Los problemas resueltos en textos universitarios de física. *Enseñanza de las Ciencias, 18 (3)*, 381 - 390.

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)*, 70 - 71.

Fermilab (1998). Discovering the nature of nature. Internet: <http://www.fnal.gov/fermilab>.23

Gil Pérez, D.; Senent, F. y J. Solbes (1998). Análisis crítico de la introducción de la física moderna en la enseñanza media. *Revista de Enseñanza de la física, 2(1)*, 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)*, 61-78.

Holcomb, D. (1997). Criterios para una actualización de los currículos de física en todos los niveles. Memorias del VI Conferencia Interamericana sobre Educación en la Física.

Ireson, G. (1996). Relativity at A-level: a looking glass approach. *Physics Education, 31(65)*, 356 - 361.

Litwin, E. (1997). *Las configuraciones didácticas*. Bs. As.: Paidós Educador.

Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C. y P. Baptista Lucio (1997). *Metodología de la Investigación*. Colombia: Mc Graw Hill.

Kalmus, P. (1992). Particle physics at A-level - the universities' viewpoint. *Physics Education, 27(2)*, 62 - 64.

Moreira, M. (2000). Reporte final de la VII Conferencia Interamericana sobre Educación en Física. Canela, Porto Alegre, Brasil.

Ostermann, F. y M. Moreira (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 M. Moreira (2000). Física Contemporânea en la escuela secundaria: Una experiencia en el aula involucrando formación de profesores, *Enseñanza de las Ciencias, 18 (3)*, 391 - 404.

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

Saltiel, E. y J. L. Malgrange (1980). Spontaneous ways of reasoning in elementary kinematics. *European Journal of Physics, 2*, 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.

Stannard, R. (1990). Modern Physics for the young. *Physics Education*, 25 (3), p. 133.

Swinbank, E. (1992). Particle Physics: a new course for schools and colleges. *Physics Education*, 27(2), 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), 209 - 214.

Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana, Tomo 1: El uso colectivo y la evolución de conceptos*. Madrid: Alianza Editorial.

Villani, A. y J. Pacca (1987). Students' Spontaneous Ideas about the Speed of Light. *International Journal of Science Education*, 9 (1), 55-65.

Villani, A. y J. Pacca (1990). Spontaneous Reasoning of Graduate Students. *International Journal of Science Education*, 12 (5), 589-600.

Villani, A. y S. Arruda (1998). Special Theory of Relativity, Conceptual Change and History of Science. *Science & Education*, 7, 85 – 100.

Wilson, B. (1992). Particle physics at A - level - a teacher' viewpoint. *Physics Education*, 27(2), 64 - 65.

Anexo 1. Encuesta para docentes de Física de Nivel Medio y/o Polimodal

Por favor, complete los siguientes datos:

PROVINCIA EN LA CUAL TRABAJA COMO DOCENTE:

AÑOS EN LA DOCENCIA DE NIVEL MEDIO Y/O
POLIMODAL:

TÍTULO: **Docente** **No docente** (Ingeniero, arquitecto, técnico,
etc.)

TÍTULO DOCENTE: **Terciario** **Universitario**

Por favor, responda las siguientes preguntas:

1.- ¿Utiliza libros de texto como principal recurso en el trabajo en clase?

2.- ¿Cuáles han sido los libros de texto que ha utilizado o utiliza para preparar sus clases de Física?

3.- ¿Cuáles han sido los libros de texto que ha recomendado o recomienda a sus alumnos para trabajar en clase o para que realicen consultas de temas de Física?

Si actualmente está trabajando en el nivel Medio y/o Polimodal en Física:

4.- ¿Cuál es el texto que más utiliza Ud. para preparar sus clases?

(Pondere el texto mencionado, con una escala de 1 a 5, donde el valor 1 corresponde al menor valor respecto a las características que se proponen para el texto y el valor 5 el valor mayor).

Es correcto desde el punto de vista científico

Incorpora datos relevantes desde el punto de vista histórico

5.- ¿Cuál es el texto que más recomienda a sus alumnos?

(Pondere las siguientes afirmaciones, respecto del texto mencionado, con el mismo criterio que el punto anterior)

Es correcto desde el punto de vista científico

Es didáctico

Tiene ejemplos interesantes

A los estudiantes les agrada trabajar con él

Incorpora datos relevantes desde el punto de vista histórico

Incluye problemas que requieren manejo conceptual de los temas por parte de los alumnos para resolverlos

La mayoría de las actividades propuestas sólo requieren una resolución mecánica

De los siguientes textos indique con una cruz una de las alternativas:

• Maiztegui, A. y Sabato, J.1980. *Introducción a la Física*, Tomo I. (Ed. Kapeluz: Bs. As.).

Lo utilizo siempre

Lo utilizo poco

Lo he utilizado durante algún tiempo

Nunca lo he utilizado pero lo conozco

No lo conozco

• Castiglioni, R. Perazzo, O. y Rela, A. 1983. *Física 2*. (Ed. Troquel: Bs. As.)

Lo utilizo siempre

Lo utilizo poco

Lo he utilizado durante algún tiempo

Nunca lo he utilizado pero lo conozco

No lo conozco

- Stolberg, R. y Hill, F., 1982. *Física: Fundamentos y Fronteras*. (Ed. Publicaciones Cultural, S. A.: México)

Lo utilizo siempre

Lo utilizo poco

Lo he utilizado durante algún tiempo

Nunca lo he utilizado pero lo conozco

No lo conozco

- Hecht, E. 1987. *Física en Perspectiva*. (Ed. Addison – Wesley Iberoamericana: USA).

Lo utilizo siempre

Lo utilizo poco

Lo he utilizado durante algún tiempo

Nunca lo he utilizado pero lo conozco

No lo conozco

- Hewitt, P. 1995. *Física Conceptual*. (Ed. Addison – Wesley Iberoamericana: USA).

Lo utilizo siempre

Lo utilizo poco

Lo he utilizado durante algún tiempo

Nunca lo he utilizado pero lo conozco

No lo conozco

- Rela, A. y Sztrajman, J. 1998. *Física I: Mecánica, ondas y calor*. (Ed. Aique: Bs. As.)

Lo utilizo siempre

Lo utilizo poco

Lo he utilizado durante algún tiempo

Nunca lo he utilizado pero lo conozco

No lo conozco

- Aristegui, R. y otros. 2000. *Física II*. (Ed. Santillana: Bs. As.)

Lo utilizo siempre

Lo utilizo poco

Lo he utilizado durante algún tiempo

Nunca lo he utilizado pero lo conozco

No lo conozco

6.- ¿Ha cursado alguna materia en su formación de grado que contemple el tema Teoría Especial de la Relatividad (TER)?

7.- ¿Ha realizado algún curso de perfeccionamiento acerca de la TER?

8.- ¿Ha tenido que desarrollar el tema TER en secundaria o Polimodal alguna vez?

Si ha trabajado el tema TER en el nivel Medio y/o Polimodal:

9.- ¿Cuáles han sido los libros de texto que ha utilizado o utiliza para preparar sus clases en el tema TER?

10.- ¿Cuáles han sido los libros de texto que ha recomendado o recomienda a sus alumnos para trabajar en clase o para que realicen consultas acerca de la TER?

11.- ¿Cuáles cree Ud. que son las principales dificultades que tienen los alumnos para aprender el tema significativamente? (Si necesita más espacio para responder, por favor adjunte una hoja)

12.- ¿Cree Ud. que el tema es relevante y debe incorporarse en los planes de estudio? ¿Por qué?

13.- ¿Cuáles son los conceptos que Ud. considera deberían ser discutidos con anterioridad al desarrollo del tema? ¿Por qué?

14.- ¿En qué año del ciclo Polimodal cree Ud. que es conveniente que se incorpore el tema de TER? ¿Por qué?

15.- ¿Cuál considera Ud. que puede ser el aporte para el alumno al aprender la TER?

Si nunca ha trabajado el tema TER en el nivel Medio y/o Polimodal:

16.- ¿Qué libros consultaría en primera instancia para abordar el tema?

17.- ¿Cuáles cree Ud. que serían las principales dificultades que tendrían los alumnos para aprender el tema significativamente? (Si necesita más espacio para responder, por favor adjunte una hoja)

18.- ¿Cree Ud. que el tema es relevante y debe incorporarse en los planes de estudio? ¿Por qué?

19.- ¿Cuáles son los conceptos que Ud. considera deberían ser discutidos con anterioridad al desarrollo del tema? ¿Por qué?

20.- ¿En qué año del ciclo Polimodal cree Ud. que sería conveniente que se incorpore el tema de TER? ¿Por qué?

21.- ¿Cuál considera Ud. que puede ser el aporte para el alumno al aprender la TER?

Anexo 2. Libros de texto mencionados por los docentes

Alonso, M. y Finn, E., 1995. *Física*. Addison Wesley Iberoamericana:

Aristegui, R. y otros. 2000. *Física II*. Ed. Santillana: Bs. As.

Castiglioni, R., Perazzo, O., Rela, A. 1983. *Física 2*. Ed. Troquel: Bs. As.

Feynmann, R., Leighton, R. y Sands, M. 1971. *The Feynman Lectures on Physics*, Vol. 1. Fondo Educativo Interamericano, S. A.

Hecht, E. 1987. *Física en Perspectiva*. Ed. Addison – Wesley Iberoamericana: USA.

Hewiitt, P. 1995. *Física Conceptual*. Ed. Addison – Wesley Iberoamericana: USA.

Maiztegui, A. y Sabato, J. 1980. *Introducción a la Física*, Tomo I. Ed. Kapeluz: Bs. As. México

Rela, A. y Sztrajman, J. 1998. *Física I: Mecánica, ondas y calor*. Ed. Aique: Bs. As.

Resnick, R. y Halliday, D. 1981. *Física, parte 1*. Compañía Editorial Continental, S.A.: México.

Sears, F., Zemansky, M. y Young, H., 1981. *Física*. Agilar:

Serway, R. 2001. *Física, tomo 2*. Mc Graw - Hill: México.

Tipler, P., 1996. *Física*. Ed. Reverté: Barcelona.