

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

Primera Parte

Irene Arriasecq¹ - Ileana M. Greca²

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

² 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.

Introducción

La actualización de los currículos de Física en el nivel medio/polimodal, con la incorporación de teorías desarrolladas durante el último siglo, es desde hace algunos años un tópico repetidamente abordado por los investigadores en enseñanza de la Física (Gil et al., 1998; Aubrecht, 1989; Stannard, 1990; Kalmus, 1992; Wilson, 1992; Swinbank, 1992; Terrazzan, 1992; Ostermann y Moreira, 2000; Holcomb, 1997; Villani y Arruda, 1998; de la Torre, 1998 y Moreira, 2000). De los diversos temas de la denominada Física Moderna¹ que pueden ser tratados en este nivel, uno de los que resultan más interesantes es la Teoría de la Relatividad Especial (TER) (Gil et al., 1988; Ire-

son, 1996; Contemporary Physics Education Project, 1998; Fermilab, 1998; Ostermann y Moreira, 1998).

El interés en la incorporación de la TER, además de su relevancia dentro del ámbito científico, se justifica por diversas razones. 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

1. Denominaremos 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 la Mecánica Cuántica, en contraposición a la idea de Física Clásica.

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). Por otra parte, la influencia de la TER ha excedido el ámbito de la Física y su conocimiento es necesario para comprender diferentes aspectos de las producciones culturales del siglo XX. Como señala Holton (1996), ciertos avances en la ciencia han tenido 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. Además de favorecer una cultura general más amplia, el incorporar estos aspectos contextualiza el conocimiento científico, mostrando que no es una actividad aislada y que puede modificar aspectos insospechados de la realidad (Arriasecq y Greca, 2002).

De hecho, 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 y, según un estudio realizado por Capuano et al. (1997) es la teoría más mencionada por los estudiantes argentinos como referente de la Física, y la que más les interesaría aprender. Sin embargo, lo que se observa es que es muy poco probable que efectivamente se concrete su abordaje en clases de Física.

Los resultados de un estudio realizado con docentes de este nivel (Arriasecq y Greca, 2004a) muestra que más del 87% de los encuestados no han abordado el tema en el polimodal, aún considerándolo relevante para ser tratado en este nivel. Una de las posibles explicaciones para esta situación que emerge del estudio referido, además de las causas ya conocidas como la extensión del programa a ser abordado y el escaso tiempo disponible, es que parecería que los docentes carecen de una comprensión profunda de los conceptos rele-

vantes para interpretar correctamente la TER y sus implicancias, a pesar de haber recibido instrucción formal en el tema, resultado que concuerda con lo hallado en otros estudios (Pérez y Solbes, 2003). 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 otros países, en este caso en España (Pérez y Solbes, 2003)-, fundamentalmente los de nivel polimodal, y son esos mismos textos los recomendados a los alumnos. 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 importante dado que si los docentes en su formación de grado no han tenido oportunidad de analizar en profundidad conceptos de la TER difícilmente puedan aprenderlos en los libros que manifiestan consultar, dado que estos abordan este tema de forma muy superficial.

Esto muestra la necesidad de realizar estudios críticos de los libros de texto más utilizados por docentes y alumnos 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 tratar este tema por primera vez recurrirán, como lo han manifestado en el estudio antes referido, 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.

En este trabajo relataremos los resultados de diversas investigaciones que hemos realizado sobre el tema. 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 que 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.

Abordaje de la TER a partir de un enfoque epistemológico e histórico moderno

Como indicábamos en la introducción, el tratamiento de la TER en el ciclo medio es un tema recurrente en la literatura en enseñanza de las ciencias de los últimos 20 años. Sin embargo, son aún pocos los trabajos que presentan estrategias concretas para su implementación. Algunas propuestas al respecto han aparecido en los últimos años (por ejemplo, Salliel y Malgrange, 1980; Hewson, 1982; Villani y Pacca, 1987 y 1990; Solbes, 1986; Borghi et al 1993 en Villani y Arruda, 1998; Scherr, 2001), siendo divergentes los resultados de estas implementaciones. Por un lado, algunos resultados de investigaciones parecerían indicar que el “entusiasmo” por aprender la TER permitiría sortear las dificultades que esta presenta. Otros trabajos, por el contrario, muestran un panorama bien diferente: los estudiantes interpretarían los conceptos relativistas desde su sistema de creencias espontáneas y no a partir de los nuevos conceptos en el marco de la TER (Villani y Arruda, 1998).

Nuestro trabajo gira en torno de las beneficios de la introducción de tópicos de Física desde un enfoque histórico y epistemológico moderno – abordaje denominado contextualizado – para los niveles de enseñanza que estamos considerando. Matthews (1994) destaca, entre otros aspectos, que la introducción de tópicos correspondientes a Historia y Filosofía de la Ciencias (HFC) en la enseñanza de las ciencias puede humanizar las ciencias y facilitar la conexión de las ciencias con problemas personales, éticos, culturales y políticos, favorecer el desarrollo de habilidades de razonamiento y de pensamiento crítico así como contribuir para una mejor comprensión de los conceptos científicos, elementos todos estos que son necesarios para alcanzar los objetivos es-

perados por la enseñanza de las ciencias en el nivel medio.

Según los defensores de esta postura contextualizada, la historia de la ciencia debería utilizarse en los textos y en el aula con varios objetivos, entre ellos (Hodson, 1986 y Kragh, 1989):

a) que los alumnos comprendan las dificultades, los obstáculos que se debieron superar y los contextos culturales, filosóficos, tecnológicos, etc., distintos del actual; en que se produjeron las teorías científicas;

b) que la ciencia es una actividad humana y está realizada por hombres que aportan contribuciones parciales respondiendo preguntas que se plantean en cada época, o sea, que rara vez hay “un sólo descubridor”;

c) que los científicos, en cada momento histórico, no pensaban en nuestros “términos actuales”, ya que utilizaban las herramientas lógicas, metodológicas, epistemológicas y las tradiciones predominantes de su medio y su época.

En suma, el uso de la HFC debería mostrar que el conocimiento actual es el resultado de un largo proceso, en donde la interrelación teoría - empiria es constante y sobre el cual los factores filosóficos, culturales, sociales e incluso estéticos, tienen un peso importante. Sin embargo, es relevante aclarar que el uso de HFC como recurso didáctico para estructurar la presentación de un tema complejo, tanto en libros de texto como en clase, no debería derivar en simplificaciones extremas que distorsionen el sentido de la historia de la ciencia, y de la propia ciencia, en la enseñanza (Matthews, 1994; Lombardi, 1997).

Desde la perspectiva planteada, intentamos determinar algunos ejes que resultan necesarios para la introducción de la TER en la enseñanza de nivel medio desde esta perspectiva contextualizada (para una discusión más detallada de estos ejes ver Arriasecq y Greca, 2002). Consideramos que, dadas las deficiencias de formación respecto de la TER detectadas en los docentes (Pérez y Solbes, 2003; Arriasecq y Greca, 2004a), estos ejes deberían plasmarse en los textos didácticos más utilizados para la preparación de las clases.

Contextualización histórica de la TER

Una adecuada contextualización histórica

del surgimiento de la TER debería contemplar aspectos tales como un panorama del estado de la Física en la época en que surge la teoría y las contribuciones de investigadores que prepararon el terreno para la TER. En ese sentido podría discutirse el estado de la Física hasta 1905. Un aspecto interesante en relación con esta cuestión es la caracterización del *Programa Mecanicista newtoniano*.

En el último tercio del siglo XIX se hizo manifiesta la incompatibilidad del Programa Mecanicista con la Física del momento, en particular con la Física relacionada a los fenómenos electromagnéticos, siendo varios los científicos que realizaron aportes para una nueva visión de la naturaleza (Faraday y Maxwell, entre otros). Lorentz encabezó las tentativas de reforma del Programa Mecanicista. En el origen de la TER es posible rastrear también la influencia más “epistemológica” debida a Mach, a través de sus críticas a la Mecánica newtoniana.

Reflexión epistemológica referida a la génesis de la TER

Desde el punto de vista epistemológico, existen varios aspectos, presentes en los debates epistemológicos actuales, cuya discusión puede ser enriquecedora.

Rol de la experimentación en la génesis de la TER

La opinión del ambiente científico hasta hace poco tiempo atrás, era considerar la TER como un gran éxito teórico, la respuesta finalmente correcta al experimento de Michelson y su continuación natural (Villani, 1981). Esta opinión, marcada por la visión empirista de los propios científicos, pasó a los libros de enseñanza y de divulgación, a tal punto que ni los excelentes libros del curso *Física de Berkeley* y las *Feynman's Lectures on Physics* escapan a esta visión. A pesar de esto, una revisión cuidadosa de la historia del surgimiento de la TER permite especular que aunque el experimento de Michelson no se hubiera realizado, no hubiera influido en el surgimiento de la TER (Holton, 1982). Insistir en presentaciones de la TER donde se sugiere que la experiencia de Michelson es el punto de partida para que

Einstein desarrollara su teoría, contribuyen a generar en los alumnos una visión distorsionada de la actividad científica, fomentando una visión radicalmente empirista de la ciencia, lo que no es deseable, dado que, desde el punto de vista epistemológico, actualmente existen planteos superadores (Matthews, 1994).

Originalidad de la TER

La originalidad del trabajo de Einstein ha suscitado una vasta controversia (ver, a este respecto, una presentación muy interesante en los trabajos de Villani, 1981 y 1985). De hecho existen hoy tanto argumentos a favor de la originalidad de su teoría, como otros que sostienen que es el corolario lógico de trabajos de otros científicos. Esto es, en nuestra opinión, una posibilidad más de rescatar en el aula aspectos epistemológicos cuya discusión puede influir en la visión de ciencia que los alumnos van construyendo a lo largo del proceso de aprendizaje de la misma, facilitando su comprensión como una tarea colectiva.

Referencia a comprobaciones experimentales de la TER

En el caso de la TER, no han sido menores los esfuerzos por ponerla a prueba y dados los aspectos particularmente contraintuitivos que posee la teoría para quienes la abordan por primera vez, no debería obviarse en los textos y en clase la mención de las distintas corroboraciones de la misma, por ejemplo la cantidad de muones que se observan a nivel del mar procedente de la radiación cósmica (Rossi y Hall, 1941 y Frieich y Smith, 1941 en Mook y Vargish, 1998).

Referencia a aplicaciones de la TER

Este aspecto permite la interpretación de la TER como una teoría física, o sea, vinculada con cuestiones empíricas y no como una tesis metafísica. En este sentido, sería relevante que los alumnos pudiesen analizar y reflexionar que la TER posibilita la interpretación y explicación de diversos fenómenos de la naturaleza como el estudio de partículas subatómicas, fuentes de energía nuclear, etc., no estando, por lo tanto, restringida a cuestiones solamente de índole teórica.

Repercusiones de la TER en distintos ámbitos

La TER, quizás como pocas otras teorías, ha trascendido el ámbito científico para influir, en algunos casos fuertemente, otros campos del saber difícilmente imaginables por el alumno, como la filosofía (donde generó amplios debates), y el arte. Como se mencionó anteriormente, el incorporar estos aspectos contextualiza el conocimiento científico, mostrando que no es una actividad aislada y que puede modificar aspectos de la realidad insospechados. Es poco probable que estos vínculos puedan ser establecidos por los alumnos si el docente no estimula una reflexión en este sentido.

Discusiones conceptuales

Como indicamos anteriormente, un enfoque contextualizado para la introducción de la TER no puede dejar de lado sus conceptos centrales. Por eso vamos a discutir en este punto los conceptos centrales de la misma, que, a su vez, son los que causan mayores dificultades en los estudiantes, quienes, por ejemplo, suelen dar explicaciones de conceptos netamente relativistas en términos de la mecánica newtoniana (Aleman Berenger, 1997); tienden a considerar el “sistema de referencia” como un *truco decorativo*, sin un fin explicativo y en general no demuestran poseer un entendimiento metaconceptual de dicho concepto como herramienta que permite una formulación apropiada del principio físico de relatividad (Panse et. al., 1994); ante una situación concreta no toman en cuenta las leyes de transformación de espacio y tiempo y se manejan con sus ideas intuitivas respecto de ambos conceptos; rara vez utilizan las leyes del principio de relatividad galileana a pesar que pueden simplificar bastante el problema; confunden la invariancia de las leyes entre marcos de referencia en movimiento relativo con la invariancia del tiempo en determinado marco (Ramadas et al, 1996). Parecería entonces que los conceptos propios de la TER serían interpretados desde matrices conceptuales clásicas o que simplemente son memorizadas algunas definiciones y fórmulas. Los resultados de las investigaciones apuntan también que no sólo los alumnos poseen errores

relacionados con la TER, sino también los docentes. Los errores detectados en los docentes parecen relacionarse con una inadecuada formación en temas como la TER, pretendiendo encontrar, de la misma forma que los estudiantes, explicaciones de conceptos netamente relativistas en términos de la mecánica newtoniana (Aleman Berenger, 1997). Esta comprensión conceptual, por otra parte, es fundamental en una visión contextualista de la enseñanza de la Física, dado que es imposible comprender el alcance y las consecuencias de una teoría científica sin una comprensión de lo que las ideas por ella expresadas representan y en que medida son nuevas y se separan de otras formas de entender los fenómenos físicos.

En este sentido, una de las consecuencias más importantes de la TER es la modificación de las nociones de *espacio* y *tiempo* respecto de la interpretación en la mecánica clásica. Sin embargo, cuando se intentan definir esos conceptos o abordarlos en el aula comienzan las dificultades y quizás una de las razones se relacione con el hecho que el concepto de tiempo “... *alcanza a todo: al trabajo, a la economía, a la información, al lenguaje, a la biología; determina nuestra vida, que es, ella misma temporal*” (Loma, 1999).

A pesar de las diferencias, todas las nociones de tiempo pueden analizarse en un continuo que en sus extremos contienen a su vez otras nociones como son la de “movimiento” o “cambio” por una parte y el “reposo”, “continuidad” o “duración” por otro. En ese sentido, tiempo y cambio parecen estar estrechamente ligados tanto desde el punto de vista filosófico como científico. Si nos centramos en la perspectiva científica, encontramos en un extremo a Galileo, Leibniz, Berkeley y, posteriormente, Mach que conciben el *tiempo relativo a un movimiento* y, por ende, al cambio. En otro extremo se encuentra Newton con una concepción de *tiempo absoluto*, universal, *independiente del movimiento* y sin relación con los cambios. Esta noción de tiempo se vincula con otras nociones claves para la Física: la *simultaneidad* y un *tiempo común a todos los observadores* y sin relación alguna con la materia.

Los conceptos newtonianos han sido criticados a lo largo de la historia, comenzando

por Berkeley y Leibniz en su propia época. Pero quizás las críticas que más interesan para nuestro trabajo sean las realizadas por Mach en su obra “Análisis histórico - crítico de la Mecánica” (1949), donde afirma que el tiempo absoluto no tiene valor práctico ni científico. La idea de Mach es que una noción de tiempo científica es aquella que sea objetiva y eso sólo se logra mediante la *medición*. Lo importante es el *instrumento*, que debe estar colocado en el lugar que se produce determinado suceso. Es así que deja de ser universal el resultado que se obtiene. Poincaré, a comienzos del siglo veinte, adhiere a la perspectiva de Mach y centra la discusión en torno a dos cuestiones relevantes para la ciencia que no se habían tenido en cuenta: la *circularidad* de algunos conceptos fundamentales para la Física y entre ellos menciona justamente al espacio y el tiempo. Poincaré resuelve este problema asumiendo que *tiempo es lo que indica un determinado instrumento de medida* y que las propiedades del mismo son las del reloj, de la misma manera que las de espacio son las de los instrumentos de medida.

Si bien la perspectiva de Poincaré plantea una alternativa al problema de la circularidad de la definición de conceptos como espacio y tiempo, surge otra cuestión central para la Física: la noción de *simultaneidad*, concepto primario y absoluto en la mecánica newtoniana, en el sentido de ser una propiedad esencial cuando se acepta la idea de un tiempo absoluto, requiere para ser establecida entre dos acontecimientos que los instrumentos de medida (por ejemplo relojes) se encuentren en el mismo lugar en que se producen los mismos y que posteriormente quienes manipulen los relojes (observadores) se comuniquen entre sí y “decidan” si los acontecimientos fueron o no simultáneos.

Creemos que es fundamental una discusión profunda de los conceptos de espacio y tiempo y del rol que desempeñan en la mecánica clásica para “reinterpretarlos” posteriormente en el marco de la TER. Fundamentalmente, es necesario que los alumnos reflexionen y expliciten su noción de *observador* en el contexto de la Física, y la mecánica clásica en particular, para que posteriormente el alumno, con ayuda del docente, pueda diferenciar la idea

de observador en la TER respecto de la mecánica clásica. En este ámbito, donde se acepta que la velocidad de la luz tiene un valor ilimitado, es suficiente considerar que un observador es una persona ubicada en un sistema de referencia con un instrumento preciso, por ejemplo un cronómetro para registrar tiempo. Así, parece plausible lo que Ricci (2000) considera con relación a que los alumnos vincularían la idea de observador con la de una persona que “observa”, otorgándole el sentido de “ver” o “mirar”. Es fundamental entonces, que el alumno pueda distinguir, desde el punto de vista físico, que en el contexto de la TER “ver” no es lo mismo que “medir” y que, a su vez, medir requiere redefinir la noción de observador. Por esta razón, en el contexto de la TER, el valor finito de la velocidad de la luz requiere “complejizar” la noción de observador que permita obtener registros de eventos ocurridos en lugares distantes.

Teniendo en cuenta lo anterior, consideramos que sería importante que en los libros de texto se hiciera referencia explícita a los siguientes aspectos: profundización de la noción de movimiento relativo en el marco de la Mecánica Clásica, discusión de conceptos contraintuitivos (Posner et al, 1982; Villani y Pacca, 1987; Gil y Solbes, 1993; Arruda y Villani, 1996; Villani y Arruda, 1998), discusión de los conceptos de espacio y tiempo, análisis del concepto de observador en el marco de la TER, discusión del concepto de simultaneidad (Angotti et al, 1978, Aleman Berenger y Pérez Selles, 2000), y esclarecimiento de paradojas.

Resultados del análisis del abordaje de la TER en los libros didácticos más utilizados

Los textos didácticos de nivel medio/polimodal y universitario más utilizados por docentes y alumnos en Argentina (Arriasecq y Greca, 2004a), que aparecen en el Anexo 1, fueron analizados mediante la técnica de análisis de contenido (Travers, 1973; Bardin, 1986) a partir de los ejes discutidos en la sección anterior. Cada eje se convirtió en una categoría que, a su vez, fue subdividida. Fueron analizados los textos según estas subcatego-

rías y asignados valores a las categorías de acuerdo con los resultados de las subcategorías. Así resultaron:

Categoría 1: Contextualización histórica de la TER (CHT)

Subcategorías: Estado de la Física cuando surge la TER (EDF) y Análisis del concepto de éter (ACE).

Valores de la categoría CHT

- *Adecuada*: cuando todas las subcategorías lo son (Valor numérico: 2).

- *Superficial*: cuando alguna de las subcategorías no es adecuada (Valor numérico: 1).

- *No existe*: cuando ambas subcategorías toman el último valor asignado a las mismas (Valor numérico: 0).

Categoría 2: Reflexión epistemológica referida a la génesis de la TER (RET)

Subcategorías: Rol de la experimentación en la génesis de la TER (REG), Originalidad de la TER (OTR), Referencia a comprobaciones experimentales de la TER (RCE) y Referencia a aplicaciones de la TER (ATR).

Valores de la categoría RET:

- *Reflexión epistemológica profunda*: cuando más de la mitad de los valores asignados en las subcategorías corresponden a los primeros valores asignados a las subcategorías (Valor numérico: 2).

- *Reflexión epistemológica superficial*: cuando no predomina ni el primero ni el tercero de los valores asignados a las subcategorías (Valor numérico: 1).

- *No existe reflexión epistemológica*: cuando más de la mitad de los valores asignados en las subcategorías corresponden a los últimos valores asignados a las subcategorías (Valor numérico: 0).

Categoría 3: Repercusiones de la TER en distintos ámbitos (RTA)

Subcategorías: Repercusión en el ámbito científico (RAC), Repercusiones en el ámbito de la Filosofía (RAF) y Repercusiones en el ámbito del arte (RAA).

Valores de la categoría RTA:

- *Referencias diversas*: cuando este valor se obtiene en todas las subcategorías (Valor numérico: 2).

- *Referencias escasas*: cuando al menos una de las subcategorías toma este valor (Valor numérico: 1).

- *No existe referencia*: cuando ese valor le corresponde a todas las subcategorías (Valor numérico: 0)

Categoría 4: Discusiones conceptuales (DCO)

Subcategorías: Discusión de los conceptos de espacio y tiempo (CET), Análisis del concepto de observador en la TER (ACO), Discusión de conceptos contraintuitivos (DCC), Discusión del concepto de simultaneidad (DCS), Noción de movimiento relativo en el marco de la Mecánica Clásica (NMR) y Análisis de paradojas en la TER (APT).

Valores de la categoría DCO:

- *Reflexión didáctica profunda en el planteo del tema*: cuando predomina el primer valor asignado (Valor numérico: 2).

- *Reflexión didáctica escasa en el planteo del tema*: cuando no predomina ni el primero ni el tercero de los valores asignados a las subcategorías (Valor numérico: 1).

- *No se han tenido en cuenta consideraciones didácticas para plantear el tema*: cuando predomina el tercer valor asignado a las subcategorías (Valor numérico: 0).

Presentamos en las tablas 1 y 2 los resultados de este análisis (la descripción detallada del análisis aparece en Arriasecq y Greca, 2005). En el Anexo 2 se presentan los resultados parciales de las subcategorías para los textos analizados. Consideramos importante aclarar que no se pretendió hacer un juicio de valor respecto de los textos analizados, en el sentido de rotularlos como “buenos” o “malos”. En todo caso, los valores atribuidos corresponden a su adecuación o no para ser utilizados en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la TER, desde el punto de vista del marco teórico discutido al comienzo de este trabajo.

Tabla 1. Síntesis del análisis de los textos de nivel medio/polimodal

	CHT			RET			RTA			DCO			TOTAL		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
T1		•			•		•			•			2	2	-
T2	•				•		•			•			3	1	-
T3		•			•		•			•			2	2	-
T4		•			•		•			•			2	2	-
T5		•		•				•		•			2	2	-
T6	•			•			•				•		3	1	-
T7	•			•				•			•		2	2	-
T8		•			•		•				•		1	3	-
T9		•			•		•			•			2	2	-
TOTAL	3	6	-	3	6	-	7	2	-	6	3	-			

Tabla 2. Síntesis del análisis de los textos de nivel universitario

	CHT			RET			RTA			DCO			TOTAL		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
T1		•			•			•			•		-	4	-
T2		•		•			•			•			3	1	-
T3		•			•		•			•			1	3	-
T4		•			•		•				•		1	3	-
T5		•		•			•			•			3	1	-
T6		•		•				•			•		1	3	-
TOTAL	-	6	-	3	3	-	4	2	-	3	3	-			

El primer aspecto que surge al analizar los valores presentados en las tablas es que los textos en su conjunto, tanto de nivel medio / polimodal como universitarios, no obtienen en ninguna de las categorías planteadas el máximo valor “2” que indicaría que en el texto han sido tenidos en cuenta los aspectos necesarios para presentar la TER desde una perspectiva histórica y epistemológicamente contextualizada y que existen discusiones conceptuales que contemplan los aportes de las investigaciones en enseñanza de la Física, tales como: profundización de la noción de movimiento relativo en el marco de la Mecánica Clásica, discusión de conceptos contraintuitivos, de los conceptos de espacio y tiempo, análisis del concepto de observador en el marco de la TER, discusión del concepto de simultaneidad, y esclarecimiento de paradojas. Estos resultados son coincidentes con los encontrados en España por Pérez y Solbes (2003).

Si se miran en las tablas los valores para cada texto se observa que, si bien algunas de las subcategorías tienen el valor “2”, es imposible recopilar temas de distintos textos como para abordar la TER desde la perspectiva aquí propuesta, con una puntuación adecuada. Incluso en el texto más utilizado por los docentes y alumnos, (texto 7 del anexo 1), de acuerdo con un estudio realizado (Arriasecq y Greca, 2004a) adquiere el valor “2” en sólo una subcategoría, predominando el valor “0” en las demás.

En resumen, los textos analizados no incorporan los diferentes resultados de la investigación en enseñanza de las ciencias, ni las discusiones históricas y epistemológicas sobre el tema. Si bien puede pensarse que a los editores de los libros no les preocupa este aspecto, resulta significativo que los autores de los libros, que deberían estar al tanto de esta necesidad e incorporar cuestiones como las analizadas, no lo hagan. Al mismo tiempo, a pesar de que

muchos de los textos aquí analizados para el nivel polimodal discuten específicamente en capítulos separados las cuestiones de índole epistemológica acerca de la ciencia (qué diferencia una producción científica de otro tipo de conocimiento, cómo se validan los conocimientos científicos, cuáles son las metodologías de trabajo en diferentes disciplinas, etc.) desde visiones que se encuadrarían como no positivistas, el tratamiento superficial, en ese aspecto, de la TER parece mostrar que, al igual que los profesores, los autores de libros repiten esas antiguas versiones universitarias simplificadas de la TER. Esto podría confundir a los propios profesores que, sin una formación apropiada sobre el tema – ni histórica,

ni epistemológica ni conceptual – se limitan al uso de los textos modernos de nivel polimodal que continúan abordando la TER como una versión simplificada de los textos de nivel universitario, donde la referencia histórica por lo general no existe y cuando está presente suele ser difusa y, en el peor de los casos, distorsionada. En cuanto al aspecto epistemológico, como ya mencionamos, si bien algunos autores se manifiestan como no positivistas, a través del recorte que realizan del tema y del uso, en muchos casos inadecuado, que hacen de la historia de la ciencia favorecen visiones distorsionadas del trabajo científico y de los métodos de validación del mismo.

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 Martinez 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.
- Panase, 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.

ANEXO 1

Nómina de los textos analizados que contienen el tema TER

- Nivel secundario: Pre reforma educativa
 Texto 1: MAIZTEGUI, A. y SABATO, J.1980. *Introducción a la Física*, Tomo I. Ed. Kapeluz: Bs. As.
 Texto 2: STOLBERG, R. y HILL, F., 1982. *Física: Fundamentos y Fronteras*. Ed. Publicaciones Cultural, S. A.: México
 Texto 3: CASTIGLIONI, R., PERAZZO, O., RELA, A.1983. *Física 2*. Ed. Troquel: Bs. As.
 Texto 4: HECHT, E. 1987. *Física en Perspectiva*. Ed. Addison – Wesley Iberoamericana: USA.
- Nivel secundario y Polimodal: Post reforma educativa
 Texto 5: RELA, A. y SZTRAJMAN, J. 1998. *Física I: Mecánica, ondas y calor*. Ed. Aique: Bs. As.
 Texto 6: ARISTEGUI, R. y otros. 2000. *Física II*. Ed. Santillana: Bs. As.
 Texto 7: HEWITT, P. 1995. *Física Conceptual*. Ed. Addison – Wesley Iberoamericana: USA.
 Texto 8: GALINDO, A. y otros. 1997. *Física 2° de Bachillerato*. Ed. Mc Graw Hill: Madrid.
 Texto 9: PEÑA, A. y GARCIA, J. A. *Física 2° de Bachillerato (Logse)*. Ed. Mc Graw Hill: Madrid, 1996.
- Nivel universitario
 Texto 1: TIPLER, P., 1996. *Física*. Ed. Reverté: Barcelona.
 Texto 2: SEARS, F., ZEMANSKY, M. y YOUNG, H., 1981. *Física*. Agilar:
 Texto 3: ALONSO, M. y FINN, E., 1995. *Física*. Addison Wesley Iberoamericana:
 Texto 4: SERWAY, R. 2001. *Física, tomo 2*. Mc Graw - Hill: México.
 Texto 5: RESNICK, R. y HALLIDAY, D. 1981. *Física, parte 1*. Compañía Editorial Continental, S.A.: México.
 Texto 6: FEYNMAN, R., LEIGHTON, R. y SANDS, M. 1971. *The Feynman Lectures on Physics*”, Vol. 1. Fondo Educativo Interamericano, S. A.

ANEXO 2

Tabla 1. Presentación cualitativa del análisis de los textos de nivel medio/polimodal

CATEGORÍAS	TEXTO 1	TEXTO 2	TEXTO 3	TEXTO 4	TEXTO 5
CHT	Superficial	No existe	Superficial	Superficial	Superficial
EDF	Superficialmente descripto	No se describe	Superficialmente descripto	No se describe	No se describe
ACE	Superficial	No existe análisis	Superficial	Superficial	Superficial
RET	Reflexión epistemológica superficial	Reflexión epistemológica superficial	Reflexión epistemológica superficial	Reflexión epistemológica superficial	No existe reflexión epistemológica
REG	Visión distorsionada del rol de la exp.	Visión neutra del rol de la experimentación	Visión distorsionada del rol de la experimentación	Visión neutra del rol de la experimentación	Visión distorsionada del rol de la experimentación
OTR	Parcialmente original	Completamente original	Parcialmente original	Parcialmente original	Completamente original
RCE	Escasa	Escasa	Escasa	Suficiente	Nula
ATR	No existe referencia	Referencias superficiales	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia
RTA	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	Referencias escasas
RAC	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia
RAF	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia
RAA	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	Referencias escasas
DCO	No se han tenido en cuenta consideraciones didácticas para plantear el tema	No se han tenido en cuenta consideraciones didácticas para plantear el tema	No se han tenido en cuenta consideraciones didácticas para plantear el tema	Reflexión didáctica escasa en el planteo del tema	Reflexión didáctica escasa en el planteo del tema
DCC	No se tienen en cuenta	No se tienen en cuenta	No se tienen en cuenta	Se menciona	Se menciona
DCS	No existe discusión	No existe discusión	No existe discusión	Se discute en profundidad	No existe discusión
NMR	Se menciona	Se menciona	Se menciona	Se menciona	Se menciona
APT	No se mencionan	No se mencionan	No se mencionan	No se mencionan	Se mencionan
CET	No existe discusión	No existe discusión	No existe discusión	No existe discusión	No existe discusión
ACO	No existe	No existe	No existe	No existe	No existe

CATEGORÍAS	TEXTO 6	TEXTO 7	TEXTO 8	TEXTO 9
CHT	No existe	No existe	Superficial	Superficial
EDF	No se describe	No se describe	Superficialmente descripto	Adecuadamente descripto
ACE	No existe análisis	No existe análisis	Superficial	Superficial
RET	No existe reflexión epistemológica	No existe reflexión epistemológica	Reflexión epistemológica superficial	Reflexión epistemológica superficial
REG	Visión distorsionada del rol de la experimentación	Visión neutra del rol de la experimentación	Visión neutra del rol de la experimentación	Visión neutra del rol de la experimentación
OTR	Completamente original	Completamente original	Completamente original	Completamente original
RCE	Suficiente	Nula	Escasa	Escasa
ATR	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia
RTA	No existe referencia	Referencias escasas	No existe referencia	No existe referencia
RAC	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia
RAF	No existe referencia	Referencias escasas	No existe referencia	No existe referencia
RAA	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia
DCO	Reflexión didáctica escasa en el planteo del tema	Reflexión didáctica escasa en el planteo del tema	Reflexión didáctica escasa en el planteo del tema	No se han tenido en cuenta consideraciones didácticas para plantear el tema
DCC	Se menciona	Se menciona	No se tienen en cuenta	Se menciona
DCS	Se discute en profundidad	No existe discusión	Se menciona	No existe discusión
NMR	Se menciona	Se menciona	Se presenta una síntesis	Se presenta una síntesis
APT	Se discuten en profundidad	Se discute en profundidad	Se mencionan	No se mencionan
CET	Se analiza superficialmente	Se analiza superficialmente	Se analiza superficialmente	No existe discusión
ACO	No existe	No existe	Superficial	No existe

Tabla 2. Presentación cualitativa del análisis de los textos de nivel universitario

CATEGORÍAS	TEXTO 1	TEXTO 2	TEXTO 3	TEXTO 4	TEXTO 5	TEXTO 6
CHT	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
EDF	Superficialmente descripto	No se describe	No se describe	No se describe	No se describe	No se describe
ACE	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
RET	Reflexión epistemológica superficial	No existe reflexión epistemológica	Reflexión epistemológica superficial	Reflexión epistemológica superficial	No existe reflexión epistemológica	No existe reflexión epistemológica
REG	Visión acorde con la discusión histórica del rol de la exp.	Visión neutra del rol de la exp.	Visión distorsionada del rol de la exp.	Visión acorde con la discusión histórica del rol de la exp.	Visión neutra del rol de la exp.	Visión neutra del rol de la exp.
OTR	Parcialmente original	Completamente original	Parcialmente original	Completamente original	Completamente original	Completamente original
RCE	Escasa	Nula	Escasa	Escasa	Nula	Nula
ATR	Referencias superficiales	No existe referencia	No existe referencia	Referencias superficiales	No existe referencia	No existe referencia
RTA	Referencias escasas	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	Referencias escasas
RAC	Referencias escasas	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia
RAF	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	Referencias escasas
RAA	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia	No existe referencia
DCO	Reflexión didáctica escasa en el planteo del tema	No se han tenido en cuenta consideraciones didácticas para plantear el tema	No se han tenido en cuenta consideraciones didácticas para plantear el tema	Reflexión didáctica escasa en el planteo del tema	No se han tenido en cuenta consideraciones didácticas para plantear el tema	Reflexión didáctica escasa en el planteo del tema
DCC	Se menciona	No se tienen en cuenta	No se tienen en cuenta	Se menciona	No se tienen en cuenta	No se tienen en cuenta
DCS	Se discute en profundidad	Se discute en profundidad	No existe discusión	Se discute en profundidad	No existe discusión	Se menciona
NMR	Se presenta una síntesis	Se menciona	Se menciona	Se presenta una síntesis	Se menciona	Se presenta una síntesis
APR	Se discuten en profundidad	No se mencionan	No se mencionan	Se discuten en profundidad	No se mencionan	Se discuten en profundidad
CET	No existe discusión	No existe discusión	No existe discusión	No existe discusión	No existe discusión	No existe discusión
ACO	No existe	No existe	No existe	Superficial	No existe	No existe