

## INTRODUCCIÓN DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL EN EL NIVEL MEDIO /POLIMODAL DE ENSEÑANZA: IDENTIFICACIÓN DE TEOREMAS - EN - ACTO Y DETERMINACIÓN DE OBJETIVOS – OBSTÁCULO

**Irene Arriasecq** [irenearr@exa.unicen.edu.ar]

Núcleo de Investigación en Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología

Facultad de Cs. Exactas

Universidad Nacional del Centro de la Pcia. de Buenos Aires

Campus Universitario, Paraje Arroyo Seco, Tandil, Pcia. de Bs. As. - Argentina

Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias

Universidad de Burgos, España y UFRGS, Brasil.

**Ileana M. Greca** [ilegreca@hotmail.com]

In-Praxis, Comunidades en Práctica.

Burgos, España

### Resumen

En este artículo se presenta un análisis de ciertas nociones que los alumnos del nivel medio/polimodal de Argentina poseen respecto de conceptos fundamentales de física clásica que son necesarios para una adecuada conceptualización de algunos de los aspectos más relevantes de la Teoría Especial de la Relatividad (TER). Los resultados parecen indicar que los alumnos del grupo estudiado no han conseguido desarrollar esquemas apropiados para abordar situaciones en donde estos conceptos aparecen. A partir de los invariantes considerados no adecuados, se han determinado objetivos-obstáculos que deberían ser superados por los alumnos, en el contexto del aula y con la mediación de una propuesta didáctica específica, para un aprendizaje significativo de la TER.

**Palabras-clave:** Teoría Especial de la Relatividad, obstáculos epistemológicos, invariantes operatorios, objetivos-obstáculo.

### Abstract

In this work, we present an analysis of the representations that students, in high school/polimodal level in Argentina have about relevant classic concepts, necessities for the understanding of the Special Relativity Theory (TER). The results seem to show that the analyzed students group has not developed appropriate schemas for them. From these incorrect conceptions, we try to determine some objectives – obstacles that should be pass over by the students, in classroom context with an specific didactic proposal for a significative learning of the TER.

**Key-words:** Special Relativity Theory – epistemological obstacles –theorems in action - objectives-obstacles.

### Introducción

Las reformas introducidas por varios países en los currículos de ciencias para el nivel medio en la última década han impuesto, al menos en el ámbito de los ministerios, una actualización de los mismos, introduciendo, en el caso de la Física, temas de lo que se denomina física moderna y contemporánea. Esto refleja la necesidad de ofrecer a los estudiantes la oportunidad de aprender sobre los desarrollos científicos recientes que influyen

en el mundo en que viven y ha sido enfatizado, desde diversas perspectivas, por numerosos investigadores en el área de la enseñanza de las ciencias (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).

Aunque es todavía debatible que temas incorporar, dos parecen tener consenso: la mecánica cuántica y la relatividad. A pesar de que en el ámbito de aplicaciones tecnológicas no pueden aun compararse, ambas teorías marcaron una nueva era dentro de la Física, una nueva forma de mirar hacia los extremos del mundo natural (lo extremadamente pequeño, lo extremadamente rápido), que rompe y profundiza nuestra imagen “clásica” del mundo.

En particular, la incorporación de la teoría de la relatividad especial (que de ahora en adelante indicaremos como TER), que es nuestro tema de interés, se justifica por diversas razones, además de las estrictamente científicas. 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 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 (Toledo *et al.*, 1994; 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 a 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, algunos trabajos científicos de Einstein 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). Al mismo tiempo, en un año tan especial para la Física como lo fue el 2005, hubo una gran cantidad de información en los diversos medios de comunicación masiva que favoreció, en algunos casos, el despertar interés por el tema en la población en general y en los adolescentes en particular, y en otros a reafirmarlo.

En este contexto venimos desarrollando una investigación cuyo primer objetivo fue la determinación de ejes epistemológicos, históricos y didácticos necesarios para introducir la TER en el nivel polimodal<sup>1</sup> de Argentina desde una perspectiva contextualizada (Arriasecq y Greca, 2002), a partir de una extensa revisión de la bibliografía existente sobre el tema en el área de historia, epistemología y enseñanza de las ciencias en los últimos 25 años.

---

<sup>1</sup> A 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 más que se denomina *polimodal* y que reemplaza al ciclo superior de educación media o secundaria.

Cabe destacar que son relativamente pocos los trabajos de investigación referidos a la comprensión de la relatividad por parte de los alumnos y, la mayor parte de esas investigaciones, se ocupan del contexto galileano, particularmente movimiento relativo. En esta línea, Panse *et al.* (1994) y Ramadas *et al.* (1996) sostienen que muchos alumnos el sistema de referencia tiene límites físicos definidos, con lo cual un objeto podría “salirse” de dicho sistema de referencia. Saltiel y Malgrange (1980) en estudio realizados en Francia con grupos de alumnos de once años, primero y cuarto año de la universidad, han encontrado poca diferencia en las respuestas obtenidas referidas a movimiento relativo entre esos tres grupos. Hallaron que muchos alumnos tienden a identificar el movimiento de un objeto como algo intrínseco y no como una cantidad que se mide relativa a un sistema de referencia. Los estudiantes, además, tenderían a considerar que existen movimientos “reales” (aquellos cuya causa es una fuerza) y otros “aparentes”.

Entre las investigaciones realizadas sobre la comprensión conceptual de la TER, Villani y Pacca (1987) encontraron que la forma de razonar de alumnos universitarios, enfrentados a situaciones de cinemática relativista era similar a lo hallado por Saltiel y Malgrange en el contexto galileano. Hewson (1982), a partir de los resultados de un estudio de caso, resaltó la importancia de las “creencias metafísicas” –como por ejemplo que el tiempo es absoluto– para comprender la TER. El alumno que participó del estudio consideraba que algunos efectos relativistas –como la contracción de las longitudes– como “distorsiones de la percepción”. Posner *et al.* (1982), reportó resultados similares luego de realizar entrevistas con estudiantes de física de los primeros años de la universidad y con los profesores de dichos estudiantes.

Otras investigaciones referidas a la TER muestran además que es difícil lograr una evolución conceptual y que la dificultad aparece tanto en los alumnos como en los docentes (Aleman Berenguer, R., 1997, Aleman Berenger, R. y Pérez Selles, J., 2000, Pietrocola e Zylbersztajn, 1999, Villani 1998).

En cuanto a las propuestas relacionadas con la enseñanza de la TER, han surgido algunas en los últimos años (por ejemplo, G.I.R.E.P., 1991; Bertali *et al.*, 1979, Solbes, 1986 y Borghi *et al.* 1993 en Villani y Arruda, 1998), 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). Al respecto, Villani (1992), por ejemplo, sostiene que la aceptación de la TER por parte de los estudiantes es sólo provisional, ya que es contraria a sus convicciones profundas.

A partir de los ejes epistemológicos, históricos y didácticos determinados para nuestro proyecto de investigación, fueron analizados libros didácticos utilizados por los docentes en Argentina en el nivel medio y universitario y acciones docentes específicas (Arriasecq y Greca, 2003, 2004, 2005). Los resultados obtenidos, que resumimos a continuación, parecen mostrar que entre las propuestas que surgen tanto de los documentos ministeriales como de los informes de investigación a la incorporación real en sala de clase, la distancia es mucha.

✍ La mayoría de los docentes 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, 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 relevantes para interpretar 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).

✍ El análisis de los libros de texto que utilizan habitualmente los docentes muestra la ineficiencia de los mismos para que los profesores puedan abordar, desde una perspectiva contextualizada histórica y epistemológica y conceptualmente apropiada, la introducción de la TER en el ciclo medio / polimodal.

✍ Estos libros son, sin embargo, el principal recurso utilizado para la preparación de clases, siendo los mismos textos recomendados a los alumnos (coincidente con lo encontrado por Pérez y Solbes, 2003 en España). Este punto es importante dado que si los docentes en su formación de grado no han tenido oportunidad de analizar con detenimiento conceptos de la TER difícilmente puedan aprenderlos en los libros que manifiestan consultar, dado que estos abordan este tema de forma muy superficial.

✍ Los docentes consideran que la principal dificultad para aprender significativamente la TER son los conceptos previos que el alumno debiera haber construido. Sin embargo, consultados respecto de conceptos que ellos consideran relevantes para el aprendizaje de la TER no hacen referencia a simultaneidad, sincronización de relojes y discusiones respecto de tiempo y espacio en mecánica clásica, conceptos previos indispensables para un aprendizaje significativo de la TER. Esto parece ser coherente con los puntos anteriores en relación con el escaso dominio del tema por parte de los docentes.

El trabajo que aquí presentamos consta de dos partes. En la primera, se presenta el marco teórico en el que se desarrolla la investigación, en sus ejes epistemológico, psicológico y didáctico. A partir de este marco teórico son determinados los conceptos centrales que los estudiantes deberían adquirir para un aprendizaje significativo de la TER. En la segunda parte se presentan los resultados obtenidos en un estudio de caso aplicando un cuestionario, diseñado en consonancia con el marco teórico, para determinar las conceptualizaciones que estudiantes de un curso del nivel polimodal han desarrollado con relación a esos conceptos claves en el área de la mecánica clásica, y que pueden convertirse en obstáculos para su respectiva comprensión en el ámbito de la TER. Emergente de este análisis, se determinan los lineamientos fundamentales para la elaboración de una propuesta, en la forma de material didáctico, que sea apropiado y útil para los docentes que deseen incorporar este tema en la enseñanza media.

### **Marco teórico**

Los elementos teóricos considerados para esta investigación se sustentan en tres ejes: epistemológico, psicológico y didáctico, compatibles entre sí y adecuados para nuestro objetivo.

En el aspecto *epistemológico*, adoptamos la postura de Bachelard para quien un análisis epistemológico profundo de los problemas intrínsecos a determinada teoría es el punto de partida para realizar investigación en ella. En nuestro caso, el análisis epistemológico del contenido que se pretende que los alumnos puedan interpretar y construir (en algunos casos reconstruir a partir de su interpretación clásica) ha sido el punto de partida de nuestra investigación en el aprendizaje de la TER (Arriasecq y Greca, 2002) Esta posición permite delimitar qué conceptos se abordarán referidos a la TER y por qué son esos, y no otros, los principales.

Entre sus presupuestos fundamentales, Bachelard afirma que sólo se construye nuevo conocimiento científico a partir de uno anterior, que generalmente es erróneo y actúa como un *obstáculo epistemológico* para el progreso científico. Los obstáculos tienen su origen en conocimientos subjetivos y se refieren a aspectos intuitivos, experiencias iniciales, conocimientos generales, incluso hasta intereses y opiniones de tipo afectivo. El *conocimiento común* es un obstáculo epistemológico para el *conocimiento científico* en el sentido que el primero tiene una base empírica y el segundo se basa en un mundo abstracto:

*“¡Qué mejor ejemplo que el de la fusión matemática del espacio y del tiempo! Esta unión lo tiene todo contra sí: nuestra imaginación, nuestra vida sensorial, nuestras representaciones; sólo vivimos el tiempo olvidando el espacio, sólo comprendemos el espacio deteniendo el curso del tiempo. Sin embargo el espacio – tiempo tiene su propia álgebra”*

(Bachelard, 1929, p. 98 – 99)

Desde el punto de vista la educación en ciencias, Bachelard plantea la existencia de los *obstáculos pedagógicos*, que dificultan la construcción de conocimiento científico por parte de los alumnos. Dentro de los obstáculos pedagógicos se incluyen la “experiencia básica” sin un análisis crítico, la “simplificación en la presentación de leyes” y el lenguaje como “obstáculo verbal” (Bachelard, 1938).

Respecto de la TER, el análisis realizado nos lleva a asumir que los conceptos de *espacio* y *tiempo* son los más relevantes para comprender dicha teoría y sus consecuencias (Arriasecq y Greca, 2002, y 2005 b). Por otra parte, el alumno ha construido en su vida sus propias versiones de dichos conceptos, versiones estas que actúan como obstáculos epistemológicos para el aprendizaje de la TER, ya que provienen de la *experiencia básica*, y nunca han sido criticados o analizados desde un punto de vista científico. En nuestras clases de física generalmente se asumen como conceptos “naturales”: “se divide por  $t$ ”; “se mide  $t$ ” – es poco común aclarar quién lo hace y cómo lo hace -; “se analiza una partícula en determinado lugar del *espacio*”; “se miden espacios recorridos por móviles” (vale la misma aclaración realizada para el tiempo); etc. Por lo tanto, espacio y tiempo<sup>2</sup> no sólo son

---

<sup>2</sup> Existen pocos trabajos de investigación referidos a la conceptualización del tiempo. Según Martins y Pacca (2005) la principal referencia específica sobre el concepto de tiempo en Física es el artículo de Proverbio y Lai quienes relatan un estudio con niños de 7 a 11 años de edad, tomando como referencia los trabajos realizados por Piaget en edades de 5 a 9 años. Martins y Pacca, a partir del marco teórico de Bachelard, plantearon su investigación con la intención de comprender aspectos vinculados a la construcción de la noción de tiempo realizada por alumnos del nivel primario y medio. En este estudio de carácter exploratorio, encontraron que los sujetos evolucionan hacia una objetivación y racionalidad crecientes.

obstáculos epistemológicos, sino que se convierten también en obstáculos pedagógicos a ser superados por los estudiantes para una comprensión apropiada de la TER.

Sin embargo, consideramos que epistemológicamente no es posible "construir" estos conceptos en la TER si el alumno no ha conceptualizado previamente nociones como "sistema de referencia", "observador", "simultaneidad" y "medición" en el marco de la mecánica clásica dado que son los conceptos básicos sobre los cuales se construirán las nuevas nociones de la TER. Sin ellos no es posible, por ejemplo, comprender la dilatación del tiempo o la contracción de las longitudes. Este análisis se ve reforzado por diversos trabajos en el área de la enseñanza de las ciencias sobre las concepciones de los estudiantes en el área de la TER, que coinciden en resaltar que muchas de las dificultades que los alumnos presentan con los conceptos relativistas provienen, en su mayoría, de sus conceptualizaciones no apropiadas de otros conceptos como de sistema de referencia, observador, simultaneidad, medición, espacio y tiempo –entre los más relevantes– en el ámbito clásico. (Villani, 1992; Villani y Arruda, 1998 en Arriasecq y Greca 2002).

Por último, la tesis de Bachelard con relación a que el conocimiento científico avanza mediante sucesivas "rectificaciones de las teorías precedentes" a las que denomina *rupturas epistemológicas* nos parece importante desde la perspectiva de la enseñanza de las ciencias. Bachelard afirma que una "verdad" sólo cobra pleno sentido al final de una polémica y que no existe una "verdad primera", sólo hay "primeros errores". Para avanzar primero es necesario equivocarse. También sostiene que el "espíritu científico" es fundamentalmente una rectificación del saber, una ampliación de los esquemas de conocimiento. Así, desde el punto de vista científico, lo verdadero es pensado como rectificación de un largo error. Esta idea es compatible con el planteo de una enseñanza de la ciencia que favorezca una imagen de ciencia dinámica y que no niega los errores sino que saca provecho de ellos (Ibíd.), p. 16).

En el eje *psicológico*, que es el aspecto teórico que se focaliza en el alumno y se plantea una posible interpretación de la forma en que el alumno conceptualiza, para un contenido particular, en situaciones específicas, adoptamos la *Teoría de los Campos Conceptuales* de Vergnaud. Esta es una teoría psicológica cognitivista cuyo objetivo es estudiar el aprendizaje de competencias complejas y la comprensión del modo en que se genera el conocimiento, entendiendo por tal tanto los saberes expresados como los procedimientos que un sujeto emplea (Vergnaud, 1990, 1993 y 1996 en Moreira, 2004). Si bien no se trata de una teoría didáctica, claramente tiene implicancias educativas al considerar que una adecuada situación debe reconocer: las dificultades vinculadas con las tareas cognitivas, los obstáculos, los procedimientos y las representaciones de que el individuo dispone (Franchi, 1999).

Los campos conceptuales a los que se refiere Vergnaud, pueden ser definidos como grandes conjuntos, informales y heterogéneos, de situaciones y problemas que requieren, para su análisis y resolución, de diversas clases de conceptos, procedimientos y representaciones simbólicas, conectadas unas con otras (Vergnaud, 1990, en Moreira, 2004). Cada campo conceptual puede tomarse como una "unidad de estudio", compuesto por situaciones, conceptos, procedimientos, etc., definida por el investigador quien la utiliza para dar significado a las dificultades que observa, en nuestro caso en los alumnos, para conceptualizar lo real (Moreira, *Ibíd.*).

Cabe aclarar que para Vergnaud, el concepto de "situación" no es sinónimo de "situación didáctica", sino que la considera una combinación de tareas que dan sentido a un

concepto. A través de una variedad de situaciones un concepto puede tornarse significativo para un sujeto. Más específicamente, son los "esquemas", que en sentido piagetiano dan cuenta tanto de formas de organización de las habilidades sensorio - motoras como de las habilidades intelectuales, los que al ser evocados por un sujeto al enfrentarse a determinada situación o representación simbólica de un concepto les dan sentido (Moreira, *Ibíd.*). Como señalan Escudero *et al.* (2003):

*“ ... para Vergnaud la idea de situación es lo suficientemente indefinida como incluir bajo ella problemas, tareas, preguntas, tanto las tradicionalmente escolares como las que están fuera de este ámbito a condición de que permitan llevar a los estudiantes a interrogarse sobre determinadas relaciones complejas y especialmente sobre la coherencia del sistema en estudio.”*

Dentro de los componentes principales de los esquemas se encuentran los "invariantes operatorios", formados por "conceptos en acción" y "teoremas en acción" que otorgan características distintivas a los esquemas. Los teoremas en acción son proposiciones, consideradas como verdaderas, sobre un aspecto de la realidad. Los conceptos en acción pueden ser objetos, predicados o bien una categoría de pensamiento considerada como importante o adecuada (Moreira, *Ibíd.*). Cabe destacar que los conceptos y teoremas-en-acción no son ni verdaderos conceptos ni verdaderos teoremas, pues se orientan hacia el saber hacer y no hacia la conceptualización. O sea, el conocimiento-en-acción permite actuar frente a determinadas situaciones, independientemente de ser verdadero o apropiado de acuerdo a algún criterio científico. Para Vergnaud, los verdaderos conceptos son relacionales y definidos como una triplete  $C=(S,R,I)$ , donde **S** es un conjunto de situaciones que dan sentido al concepto, **I** es un conjunto de invariantes operatorios asociados al concepto y constituyen el significado del concepto y **R** es un conjunto de representaciones simbólicas (lenguaje natural, gráficos y diagramas, sentencias formales, etc.) que sirven para representar de forma explícita los invariantes operatorios. Estos conceptos que el alumno adquiere de manera paulatina, cada vez que se enfrenta a variadas situaciones donde hace falta aplicarlos, pueden ser reconocidos a partir de los significantes que emplea, permitiendo con ello identificar los invariantes que ha puesto en juego.

En nuestra investigación, los aspectos centrales de la TER que deberían ser apropiados significativamente por los alumnos en el nivel educativo considerado y que están centrados, como ya se ha planteado, en los conceptos de espacio y tiempo, pueden ser considerados como un campo conceptual: todas las situaciones, problemas, representaciones simbólicas y procedimientos matemáticos pueden tratarse como una unidad de estudio alrededor de estos dos conceptos centrales. Desde esta perspectiva, nuestro objetivo es, en primer lugar, intentar identificar algunos de los invariantes operatorios en relación con estos conceptos (y los de sistema de referencia, observador, simultaneidad y medición, con los que están asociados) que los alumnos participantes del estudio han construido para resolver situaciones en el ámbito de la mecánica. A partir de este análisis, para la propuesta didáctica, se pretende elaborar situaciones didácticas que posibiliten en los estudiantes la adquisición de invariantes operatorios apropiados de los conceptos centrales del campo conceptual considerado y de sus representaciones, así como diseñar espacios para que el alumno pueda explicitar los conocimientos en acción que vaya adquiriendo para posibilitar la adquisición de los verdaderos conceptos.

Desde el punto de vista epistemológico, consideramos que la propuesta de Vergnaud (1990) es compatible con la postura de Bachelard, en tanto considera relevante estudiar las continuidades y rupturas de conocimientos desde la perspectiva del “contenido conceptual” involucrado, no pudiendo reducirse a operaciones lógicas generales, a operaciones puramente lingüísticas o a la emergencia de estructuras innatas. Así, a partir de Bachelard, determinamos los conceptos-obstáculos más importantes que los alumnos deberían superar y, utilizando las ideas de Vergnaud, determinar los invariantes operatorios usados por los estudiantes para la conceptualización de los mismos.

Aunque de los referenciales teóricos antes considerados se desprenden consecuencias didácticas importantes, consideramos necesario un eje didáctico específico. Enmarcándonos dentro de lo que consideramos una perspectiva amplia del constructivismo, tomamos como referente fundamental la concepción de *objetivo - obstáculo* de Jean Louis Martinand (1986). Martinand, analizando las situaciones didácticas habituales, distingue entre los objetivos clásicos que se plantean para la enseñanza de un determinado dominio conceptual - generalmente procedentes del modelo conductista del aprendizaje donde se define el conocimiento que se pretende que el alumno adquiera en término de conductas observables- y los obstáculos de diversa índole -conceptuales, epistemológicos, psicológicos, afectivos- que interfieren en la enseñanza. Esta forma dicotómica de concebir los objetivos de la enseñanza y los obstáculos que impiden alcanzarlos abonan una concepción, aún hoy vigente, que puede denominarse según Astolfi (2001) como “pedagogía de las ideas claras” en la cual, a partir de un modelo rústico de comunicación se asume que en la situación de enseñanza - aprendizaje existe “*un profesor emisor, claro y didáctico, frente a unos alumnos receptores, atentos y motivados ...*” (Astolfi, 2001, p. 129) y que con una progresión apropiada y ejemplos bien escogidos los alumnos, si están atentos, han de adquirir los conocimientos sin dificultades.

Martinand propone entonces que en lugar de esta dicotomía, es necesario establecer una relación dialéctica entre los objetivos de la enseñanza y los obstáculos que se interponen en la concreción de los mismos, de donde emerge el concepto de *objetivo - obstáculo*. Afirma que los progresos intelectuales que se pretenda obtener en el plano didáctico se deben corresponder con la superación<sup>3</sup> de obstáculos epistemológicos, psicológicos y metodológicos. Así, los objetivos de la educación, y en particular de la educación en ciencias, no pueden definirse a priori y con independencia de las representaciones de los alumnos – como ocurre habitualmente.

De forma similar a Bachelard, Martinand insiste en la necesidad de no considerar a los obstáculos como un aspecto negativo en el aprendizaje -postura que podría llevar a bloqueos que impidan alcanzar el objetivo deseado- sino de una forma dinámica y estimulante. Desde esta perspectiva es necesario analizar, de entre todos los obstáculos existentes o posibles, aquellos que parezcan más superables para el nivel, el contenido y el contexto en que se pretende sean superados. En relación con este punto, Astolfi (1997) sostiene que el problema principal para promover aprendizaje consiste en seleccionar del abanico de objetivos posibles, aquellos que parezcan más adecuados para una secuencia, que, en términos de los obstáculos superables, sean lo suficientemente exigentes como para que la tarea sea de interés para el alumno pero, a la vez, cuidadosamente calibrado para que el alumno, en el contexto de clase, pueda alcanzar en la interacción con el docente, compañeros y material del que disponga, la solución deseada. Este aspecto se relaciona con la noción vigostkyana de zona de desarrollo

---

<sup>3</sup> En la traducción española aparece el término “salto”. Preferimos usar el término superación pues salto parecería más cercano a “pasar por alto” o “evitar”.

proximal, ya que el obstáculo que se pretende que el alumno pueda superar se correspondería con aquello que puede ser logrado si se organizan situaciones de clase que propicien la colaboración entre pares y la ayuda del docente, permitiendo al alumno un progreso gradual que se puede traducir, en términos de Vergnaud, en la ampliación de esquemas ya existentes o en la generación de nuevos esquemas.

La propuesta de Martinand no sólo es compatible con los referenciales epistemológicos y psicológicos que hemos adoptado sino que además se encuadra dentro de una visión amplia del constructivismo llevando en consideración, al mismo tiempo, los aspectos epistemológicos, psicológicos y metodológicos del contenido a abordar y de los sujetos involucrados en la situación de enseñanza aprendizaje.

A partir de este marco teórico, construimos una encuesta y analizamos los datos obtenidos al ser respondida por un grupo de estudiantes con el objetivo de estudiar sus representaciones respecto de las nociones de espacio, tiempo, sistema de referencia, observador, simultaneidad y medición -*obstáculos epistemológicos* de nuestro análisis del contenido a abordar- expresando las principales manifestaciones externas de dichas representaciones en término de los invariantes operacionales de Vergnaud -*conceptos y teoremas en acto*- Con esto pretendemos encontrar aquellos que no se encuadran dentro de los aceptados como apropiados para la TER por la comunidad científica con el fin de definir los *objetivos - obstáculos* que deberían ser superados por el alumno, en el contexto de aula, con la mediación docente y a través de la implementación de una propuesta didáctica diseñada específicamente para el grupo de alumnos en cuestión.

## Metodología

### *Selección de la muestra*

Se realizó un contacto con la docente a cargo de la asignatura de Física del tercer año del nivel polimodal de enseñanza – con orientación ciencias naturales – de una escuela privada de la ciudad de Tandil (Argentina), para proponerle participar de un trabajo de investigación que tenía por objetivo general analizar las dificultades de los alumnos de ese nivel para construir conceptos, científicamente adecuados, en el campo conceptual de la TER. Este curso fue seleccionado fundamentalmente porque a priori sabíamos que la docente había permitido la participación de investigadores en sus clases, las autoridades de la institución aceptaban con agrado este tipo de trabajo y los alumnos conformaban un grupo especialmente interesados por el tema de la TER.

La docente, una vez aceptada su participación en la investigación, informó a los alumnos que las producciones que realizaran individual o grupalmente durante el desarrollo del tema TER serían utilizadas como parte del material analizado en una investigación, así como indicó la participación de un docente externo en la observación de las clases. El grupo de estudiantes estaba formado por dieciocho adolescentes y, cabe destacar su predisposición y colaboración con las tareas solicitadas en el marco de la investigación así como su entusiasmo con el contenido abordado.

Los resultados que presentamos corresponden entonces a una parte del estudio de caso llevado a cabo con este grupo de estudiantes para la detección de las dificultades con los conceptos centrales de la TER en el nivel polimodal, teniendo como objetivo específico

analizar las dificultades con los conceptos previos de la Física clásica necesarios para abordar los conceptos correspondientes de la TER (Arriasecq *et al.*, 2004).

Como estudio de caso, nos hemos centrado en este grupo de estudiantes en particular, no siendo relevante para el mismo la ampliación de la muestra. Sin embargo, aclaramos que el instrumento que describimos a continuación ha sido respondido por otros grupos de estudiantes, en donde se han encontrado resultados similares.

### *Diseño del instrumento*

El instrumento, que se presenta en el anexo 1, fue diseñado tomando en cuenta las consideraciones analizadas en el marco teórico. Además de estudiar las nociones que ponen en juego los alumnos en situaciones en que aparecen los conceptos de tiempo, espacio, sistema de referencia, observador, simultaneidad y medición, nos interesó analizar algunas cuestiones relacionadas con aspectos epistemológicos referidos a las nociones de "teoría" y "postulado" que manejan los alumnos, dado que son conceptos que aparecen explícitamente cuando se aborda la TER y que para la orientación contextualizada de nuestro trabajo son relevantes.

Mediante la pregunta 1 se pretende indagar acerca de las nociones del concepto de tiempo que el alumno utiliza antes de abordar el tema TER en el nivel polimodal. La pregunta se estructura en cuatro ítems con los cuáles se intenta que el alumno pueda explicitar sus nociones de mecánica clásica, previas y necesarias para abordar la TER y, a partir de ellas, inferir cuáles son los invariantes operatorios con los que cuenta. En el ítem *a*, se da la posibilidad al alumno para que verbalice su idea respecto del concepto tiempo. En términos de los "invariantes operatorios" se solicita un "predicado" para la noción de tiempo. Siendo conscientes que no siempre es posible hacer explícitas nociones que forman parte tanto del campo conceptual de la ciencia como de las experiencias cotidianas, proponemos en el inciso *b* que relacione el concepto tiempo con otros, de manera tal que nos permita inferir otros posibles "conceptos-en-acción", esto es aquellos conceptos que le son relevantes al alumno para la situación planteada. El ítem *c*, nos permite analizar otras representaciones simbólicas utilizadas por el alumno en la exteriorización de la noción de tiempo. Con el ítem *d* pretendemos indagar acerca de concepciones que podrían tener relación con las de "tiempo absoluto" y "tiempo relativo".

El inciso *a* de la pregunta 1 respecto de la noción de tiempo se complementa con la pregunta 10 donde, por un lado, se pregunta explícitamente por la relación entre el uso del concepto tiempo en Física y en la vida cotidiana. Por otra parte, se indaga acerca del tratamiento del tema que el alumno considera se ha dado al concepto en las clases de Física.

Para los conceptos "espacio", "observador", "simultaneidad" y "medición" se elaboran las preguntas 2, 3 y 4 de forma similar a la comentada respecto de "tiempo", dando la posibilidad al alumno de expresar libremente lo que desee respecto de esos conceptos y pidiéndole, en otros incisos, explícitamente que los relacione con otros conceptos que considere relevantes. Particularmente, la pregunta 2, referida al concepto de espacio, se complementa con la pregunta 11, donde se escogen dos textos, elaborados por A. Einstein en el prólogo de un libro que aborda las diferentes concepciones del espacio a lo largo de la historia, que caracterizan dos visiones diferentes respecto de ese concepto. La pregunta 3, referida al concepto de "observador" se complementa con las preguntas 4 y 5 donde se

abordan los conceptos de "medición" y "simultaneidad", fuertemente vinculados con el concepto de observador<sup>45</sup>.

La pregunta 3 también se relaciona con el inciso *d* del problema 9, dado que en este caso el alumno debe enfrentar una situación concreta que requiere el uso de un esquema cognitivo específico.

Con la pregunta 6, se pretende indagar si los alumnos asignan al término paradoja un significado acorde al que se le asigna en la TER.

En la pregunta 7 se indaga acerca del significado y jerarquía que los alumnos otorgan los conceptos "teoría" y "postulado".

La pregunta 8 pretende que el alumno exprese su conocimiento, o no, sobre Albert Einstein. Esto nos interesa pues, además de construir invariantes operacionales acordes con los científicamente aceptados en el campo conceptual de la TER, pretendemos que el alumno pueda construir, o reconstruir, una versión propia y fundamentada de un personaje transformado en un "icono" de múltiples "usos", pero del cual pocas veces el alumno puede encontrar material adecuado a su nivel y con rigor científico.

Por último, la situación presentada en el problema del ítem 9 indaga acerca de la noción de "sistema de referencia". Los incisos *a* y *b* fueron elaborados con la intención de que el alumno decida por sí mismo respecto de la necesidad de recurrir, o no, al concepto en cuestión para responder a la consigna. En el ítem *c* se le pide explícitamente que recurra al concepto de sistema de referencia para resolver la cuestión planteada. Por último, en el ítem *d* se propone una situación en que se mencionan los conceptos de sistema de referencia y observador ambos explícitamente. En esta situación, se proporcionan diferentes alternativas para que el alumno ponga en juego sus esquemas respecto de los conceptos de sistema de referencia y observador.

En el anexo 2 se presenta una tabla que sintetiza las relaciones entre los ítems que hemos desarrollado en detalle en esta sección, para facilitar la lectura del instrumento.

### *Análisis de los datos*

#### *Categorías emergentes*

Para el análisis de las respuestas brindadas por los alumnos a las cuestiones planteadas en el cuestionario, se procedió a codificarlas luego de una minuciosa lectura de las mismas. El proceso de codificación utilizado *"consiste en encontrar y darle nombre a los patrones de*

---

<sup>4</sup> En la redacción de la pregunta 5 hemos incurrido en un pleonasma, al preguntar sobre "la cantidad de una magnitud". La redacción correcta debería haber sido: ¿Qué elementos consideras indispensables para *medir* una determinada magnitud?

<sup>5</sup> En artículo anterior (Arriasecq y Greca, 2005) se discute ampliamente las nociones de tiempo que han aparecido en Filosofía y en Ciencias y, en particular, la necesidad, apuntada por Ernst Mach (1949) y retomada por Henry Poincaré, de construir una noción de tiempo objetiva que debe estar basada en la medición y, por lo tanto, referida al instrumento de medición.

*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. En esta fase, por tanto, se categorizarán las producciones externas -respuestas- de los alumnos de forma independiente de los invariantes operatorios.

A continuación se presentan todas las categorías que emergen del análisis, dado que nos interesan todas las representaciones que los alumnos exteriorizan acerca de los conceptos que hemos mencionado, ejemplificando cada una de ellas con uno o dos casos. Sólo haremos mención a aspectos cuantitativos cuando se trate de valores donde se encuadren la mayoría de las respuestas. La categorización propuesta fue posteriormente revista por dos especialistas del área.

### ✍ **Categorías elaboradas para el concepto de tiempo:**

- El concepto de tiempo tiene un significado que se relaciona con cuestiones cotidianas: Se vincula el concepto de tiempo con cuestiones de la vida cotidiana y no se hace referencia a su significado en el ámbito de la ciencia.

Ej.: " ... es el dueño de nuestras vidas".

"... es lo que vive uno a cada instante ...".

El mayor número de respuestas corresponde a esta categoría.

- El concepto de tiempo es difícil de definir: Los alumnos manifiestan que les resulta difícil definir el concepto.

Ej.: " ... es difícil de definir ya que es un término amplio ...".

- Se considera al tiempo como magnitud y/o unidad: El concepto de tiempo se presenta como sinónimo de "magnitud" o de "unidad" y, algunos casos como un híbrido entre ambos.

Ej.: " ... es una magnitud que mide días, horas, meses años, siglos...".

- El concepto de tiempo se relaciona con el proceso de medición: En esta categoría se incluyen las respuestas donde el concepto de tiempo se interpreta como proceso de medición o valor medido en determinada circunstancia.

Ej.: " ... es una manera de medir hechos ...".

" ... es una medida que nos permite saber la duración de algo especial".

- Tiempo es un concepto absoluto: Se encuadran en esta categoría aquellas respuestas donde los alumnos manifiestan una conceptualización del tiempo que parece corresponderse con la adoptada en la física newtoniana.

Ej.: " ... el tiempo es un valor universal ...".

- Tiempo es un concepto relativo: Se encuadran en esta categoría aquellas respuestas donde los alumnos manifiestan una conceptualización del tiempo que tiene algún elemento común con la adoptada por la física relativista.

Ej.: " ... *el tiempo es un concepto relativo debido a que depende de la velocidad*".

#### ✍ **Categorías para conceptos relacionados con el concepto de tiempo**

Del análisis de las respuestas al inciso (b) de la pregunta 1 surgen dos grupos bien diferenciados de conceptos:

- Conceptos Físicos: Se mencionan conceptos tales como espacio, período, velocidad, aceleración, movimiento, fuerza de roce.

- Conceptos vinculados con cuestiones cotidianas: Se mencionan conceptos tales como: vejez, dinero, vida, cambio, pasado, presente, futuro.

#### ✍ **Categorías para representaciones gráficas del tiempo:**

- Se representa al tiempo con un reloj: (dibujan un reloj)

- Se representa al tiempo como la variable independiente en un sistema de ejes coordenados:

Ej.: " ... *mediante un par de ejes cartesianos ... km recorridos en un lapso de t ...* "

- El tiempo no se puede representar:

Ej.: " *No se puede representar el tiempo ... es un concepto muy ambiguo* "

La mitad de las respuestas corresponden a esta categoría

#### ✍ **Categorías para viajes en el tiempo**

- No es posible realizar viajes en el tiempo:

Ej.: " *No es posible retroceder ni adelantar el tiempo* "

- No es posible, actualmente, viajar en el tiempo por cuestiones tecnológicas:

Ej.: " ... *tendría que existir una máquina o algo por el estilo ... actualmente es imposible viajar en el tiempo ...* "

- No es posible viajar en el tiempo físicamente:

Ej.: " ... *supongo que no se podrá viajar en el tiempo, pero matemáticamente ... se encontrará la respuesta* ".

La mitad de las respuestas de los alumnos manifiestan que no es posible realizar viajes en el tiempo. La otra mitad, se divide entre los que afirman que no es posible viajar en el tiempo porque actualmente no existe la tecnología adecuada y los que afirman que "físicamente" no es posible, pero que tiene que tener una explicación.

La pregunta 1 se relaciona como ya hemos mencionado anteriormente con la pregunta 10. Del análisis de las respuestas a esta pregunta surge que la mitad de los alumnos consideran que el concepto de tiempo utilizado en la Física es el mismo que se utiliza en las cuestiones vinculadas con la vida cotidiana. Un tercio de los alumnos manifiestan que en las clases de Física el concepto de tiempo se asumió como sabido y no se lo abordó puntualmente y aproximadamente la mitad no lo recuerda.

#### ✍ **Categoría para el concepto de espacio**

- El concepto de espacio se considera como sinónimo de "receptáculo": En esta categoría se incluyen las respuestas que pueden interpretarse como una visión "platónica" del espacio. Platón, en su libro "Timeo" se refería al espacio como un "receptáculo" (Jammer, 1970). Puede interpretarse como una analogía con los peces en el agua: los objetos en el espacio son como los peces en el mar. Los "huecos" entre los trozos de materia son también "espacio" de la misma forma que el "mar" que está entre los peces es agua.

Ej.: " ... es el lugar donde se encuentran todos los elementos del universo"

" ... es todo lo que existe entre algún objeto y otro ..."

La totalidad de las respuestas se incluyen en esta categoría.

#### ✍ **Categorías para conceptos relacionados con el concepto de espacio**

La mitad de las respuestas relacionan el concepto de espacio con "lugar". Se mencionan por igual conceptos como "vacío", "tiempo", "materia" y "unidades de volumen".

#### ✍ **Categorías para representaciones gráficas de espacio:**

- No es posible representar el espacio: La mitad de las respuestas se incluyen en esta categoría.

- Receptáculo: Se incluyen en esta categoría las respuestas que incluyen representaciones gráficas que coinciden la categoría antes definida para el concepto de espacio. Los gráficos típicos de este tipo de respuesta son "cubos".

- Ejes cartesianos: Sólo una respuesta indica que el espacio puede ser representado mediante ejes cartesianos.

La pregunta 2 se relaciona como ya hemos mencionado anteriormente con la pregunta 11. Del análisis de las respuestas a esta pregunta surge que aproximadamente la mitad de los alumnos eligen el texto 1 –interpretación del espacio como "receptáculo"– como representativo del concepto que ellos poseen de espacio y la misma proporción de alumnos no recuerda cómo se trató en las clases de Física dicho concepto. Este resultado que resulta, en principio, contradictorio, lo encontramos nuevamente en otros grupos en donde se aplicó este

test. Frente a ello, decidimos consultar a los alumnos y ellos han manifestado que los textos les resultan “difíciles” de interpretar, pareciendo elegir aleatoriamente entre las alternativas. Por esta razón hemos quitado del instrumento la pregunta 11 (a).

#### ✍ **Categorías para el concepto de observador**

- Individuo que mira: Se incluyen en esta categoría las respuestas que consideran al “observador” como una persona que “mira” atentamente determinado hecho o fenómeno y registra la mayor cantidad de detalles posibles.

Ej.: “ *observador es alguien que realiza un estudio visible de algo o alguien ... especificando la mayor cantidad de detalles posibles*”.

Aproximadamente la mitad de las respuestas se incluyen en esta categoría.

- Instrumento de medición: Se considera que las respuestas corresponden a esta categoría cuando explícitamente se manifiesta que el observador es sinónimo de instrumento de medición.

Ej.: “ *... entidad que percibe los distintos hechos que ocurren en el espacio y tiempo, tomando mediciones*”.

#### ✍ **Categorías para conceptos relacionados con el concepto de observador**

Aproximadamente la mitad de las respuestas relacionan el concepto de observador con el de “instrumento”. También aparecen los conceptos de “investigador”, “objetividad” y “subjetividad”.

#### ✍ **Categorías para el concepto de simultaneidad**

- Dos o más sucesos que ocurren al mismo tiempo: Se incluyen en esta categoría las respuestas que identifican la ocurrencia de hechos en el mismo tiempo, pero no contemplan la posibilidad que sea en lugares distintos.

Ej.: “*Dos o más sucesos que ocurren a la vez ... es decir al mismo tiempo*”.

La mayoría de las respuestas se incluyen en esta categoría.

#### ✍ **Categorías para el concepto de medición**

- Los elementos indispensables para realizar mediciones son los instrumentos: Aproximadamente la mitad de las respuestas se encuadran en esta categoría.

- La comparación de mediciones permite determinar simultaneidad de sucesos: En esta categoría se incluyen las respuestas que afirman que el proceso de medición es esencial para determinar la simultaneidad de acontecimientos.

Ej.: “ *... el proceso de medición es esencial ya que las mediciones de tiempo deben ser iguales para determinar que ciertos sucesos fueron simultáneos...* ”

### ✍ **Categorías para el concepto de sistema de referencia**

- Los alumnos no utilizan el concepto de sistema de referencia en la resolución de problemas:

Con relación al problema planteado en el ítem 9: de los 18 alumnos, 15 respondieron “4 km/h” al inciso (a) del problema, sin hacer referencia al sistema de referencia utilizado para plantear los posibles valores de la velocidad del barco. De manera análoga, 12 alumnos respondieron en el inciso (b) que la velocidad del marinero es de “4 km/h” sin referirse a un sistema de referencia. En el inciso (c), a la pregunta explícita de la velocidad del marinero respecto de la boya, solo 6 alumnos contestan correctamente. El resto contesta erróneamente o no contesta. Las respuestas al último inciso solamente son correctas cuatro.

### ✍ **Categorías para el concepto de paradoja**

- La paradoja es una contradicción: Si bien la paradoja suele definirse como “aquello que violenta nuestra intuición” (Klimovsky, 2000) y se diferencia de la *antinomia* que, efectivamente, constituye una contradicción lógica, hemos denominado de esta manera a la categoría porque el término contradicción es el que habitualmente utilizan los alumnos en sus respuestas.

Ej.: “ ... un tipo de contradicción a la que hay que buscarle una explicación”.

Aproximadamente la mitad de las respuestas se encuadran en esta categoría. El resto no contesta la pregunta o responde “no saber” o “no saber explicarlo”.

### ✍ **Categorías para el concepto de postulado**

- El postulado es una creencia: Se asume que los postulados son creencias asumidas, en este caso por la comunidad científica, que en una instancia posterior pueden convertirse en teorías científicas.

Ej.: “ Un postulado consiste en ... una teoría o idea sobre un tema en particular y una teoría es un postulado aceptado por la comunidad científica”.

Aproximadamente la mitad de los alumnos coinciden en esta opinión.

- Los postulados son parte de las teorías científicas:

Ej.: “El postulado es una idea dentro de una teoría”

### ✍ **Categorías para el concepto de teoría científica**

- Explicación de un fenómeno o hecho:

Ej.: “Una teoría científica es una explicación de un hecho o acontecimiento ocurrido en la realidad”.

- Las teorías científicas son conjuntos de hipótesis, leyes, proposiciones:

Ej.: “La teoría científica es un conjunto de leyes, hipótesis y proposiciones que explican un ... hecho ...”.

El número de respuestas es similar en ambas categorías.

#### *Invariantes operatorios inferidos*

En esta sección vamos a intentar inferir, a partir de la categorización anterior, algunos invariantes operatorios a partir de las respuestas de los alumnos. Ciertamente estos invariantes son tentativos, dado el carácter del cuestionario y además son “colectivos”, es decir no están referidos a ningún alumno en particular. Por otra parte, cabe aclarar que no abarcan todo el espectro de invariantes que estos estudiantes poseen, por ejemplo, relacionados con los conceptos de inercia, composición de velocidades, movimiento relativo, vector, función y hasta incluso el propio concepto de movimiento que hayan construido hasta entonces. Aunque el estudio psicogenético de los conceptos tratados es ciertamente fundamental para la caracterización del complejo proceso de comprensión, hemos tomado como foco de nuestro trabajo un momento “puntual” de este proceso, cercano al momento en que es deseable que los alumnos logren conceptualizar los conceptos de la TER. Como señala Franchi (1999) – analizando ideas de Vergnaud–, puede hacerse un análisis a partir de una “psicogénesis a corto plazo”, refiriéndose a la evolución de las concepciones y prácticas que un sujeto, o grupo de sujetos, logran ante nuevas situaciones. En nuestro caso el enfrentarse a la tarea de expresar sus concepciones sobre “tiempo” y “espacio”, que aunque parezca una tarea sencilla (responder una pregunta) en realidad revista gran complejidad.

Si analizamos ahora el conjunto de las diversas categorías obtenidas para el concepto de *tiempo* parece que el concepto no ha sido abordado en clase como un tema puntual donde se planteen al menos algunas de las diversas controversias a las que ha dado lugar a través de la historia de la ciencia. Los alumnos parecen asumir que el concepto de tiempo que se utiliza en el ámbito científico no difiere del utilizado en el lenguaje cotidiano, relacionándolo con situaciones en este ámbito: Algunos explicitan unas nociones vagas acerca de él y otros sin siquiera lo consiguen (“es difícil de definir”). Al mismo tiempo cuando se refieren a él supuestamente desde el contexto de la ciencia incurren en errores tales como confundir magnitudes con unidades y no establecen claramente las relaciones entre estos conceptos y el significado del proceso de medición de la magnitud tiempo. Sus representaciones acerca del tiempo son, en principio, pobres y al mismo tiempo un obstáculo para progresar en la adquisición de conceptos científicos en el campo conceptual de la TER. En conjunto, podríamos decir que los alumnos poseen un concepto-en-acción sobre el tiempo, cercano al concepto de tiempo usado en la vida cotidiana y que les permite operar, en principio, con él en el ámbito de la mecánica. Sin embargo, este concepto-en-acción ya no es apropiado en el ámbito de la física clásica y resulta problemático para la introducción de la TER.

Teniendo en cuenta que las categorías comentadas se han construido a partir del “saber decir” (tesis interaccionista y tesis operatoria)<sup>6</sup> de los estudiantes cuando se enfrentan a las preguntas del cuestionario, referidas al concepto de “tiempo”, se está en condiciones de identificar algunos elementos (invariantes operatorios) de los esquemas que estas preguntas evocan en los estudiantes. En particular se pueden inferir algunos teoremas en acción, tales como: “el tiempo es una unidad”, “el tiempo es absoluto”, “ el tiempo es relativo”, “no es posible viajar en el tiempo por cuestiones tecnológicas”, “el tiempo no se puede representar”, “el tiempo es la variable independiente en un sistema de coordenadas”.

La diversidad de los teoremas pone en evidencia que no hay regularidad en las respuestas de los alumnos, de manera que el más representativo de la acción de la clase, frente a la pregunta es “el tiempo es difícil de definir”.

Procediendo de manera análoga al análisis realizado para el concepto de tiempo, se infieren para el concepto de *espacio* algunos teoremas en acción: “el espacio no se puede representar”; “el espacio es el lugar que ocupan los cuerpos y los huecos que quedan entre ellos”.

Por otra parte, si se tiene en cuenta que la mitad de los alumnos consideran que el espacio no se puede representar o que el símbolo que utilizan más frecuentemente es un cubo y solo uno propone como una forma para su representación los ejes cartesianos, podemos concluir que los teoremas-en-acto respecto del espacio, identificados entre los estudiantes, incluyen un concepto de espacio que no es el científicamente aceptado. De manera más general, los esquemas con los cuales los alumnos interactúan con las situaciones que se les presentaron no son los adecuados, y en principio esperados, para el campo conceptual de la mecánica clásica y necesarios para afrontar discusiones en el campo conceptual de la TER.

El concepto de *observador* no parece tener para los alumnos un significado como el otorgado en el marco conceptual de la Física. Lo vinculan con cuestiones cotidianas como “mirar detalladamente”. A pesar que lo asocian con el *proceso de medición*, concepto que, como ya hemos mencionado, adquiere especial importancia en la TER, y con *instrumentos* no parecería que los alumnos hayan construido los esquemas adecuados para enfrentar situaciones donde se requiere poner en juego determinados invariantes operatorios. Por otra parte, un concepto que sería deseable que los alumnos asociaran con el de observador –y no lo hacen– es *sistema de referencia* como ya analizamos en el caso de la pregunta 9. Algunos teoremas-en- acción que podemos inferir vinculados a los conceptos mencionados son: “el observador puede ser un individuo o un instrumento que registra datos detalladamente”; “para resolver problemas de Física no es necesario tener en cuenta el sistema de referencia”; “lo más importante en el proceso de medición es el instrumento”.

Con respecto al concepto de *simultaneidad*, los alumnos reconocen la necesidad de comparar resultados de mediciones de tiempo para establecer la simultaneidad de sucesos que ocurren en el mismo lugar. Sin embargo, no contemplan la posibilidad de simultaneidad de sucesos que ocurren en lugares diferentes y que, por lo tanto, requieren de más de un

---

<sup>6</sup> Las tesis interaccionista y operatoria fundamentan que en la acción de los sujetos (en nuestro caso, responder a preguntas del cuestionario) es donde estos ponen a prueba sus conocimientos, pudiendo modificarlos. Los mismos se han construido en la interacción de su experiencia y los conocimientos anteriores. Como señala Vergnaud (1996, p. 196), los conocimientos actuales del sujeto proceden de la interacción de su experiencia y sus conocimientos anteriores.

observador o al menos de instrumentos “sincronizados” y ubicados en diferentes lugares. Un posible teorema en acción que contempla este concepto es: “dos sucesos son simultáneos cuando ocurren al mismo tiempo y en el mismo lugar”.

Otro concepto que aparece en discusiones vinculadas con la TER es el de *paradoja*. Un teorema en acción que puede inferirse, y que no es correcto desde el punto de vista científico, es: “una paradoja es una contradicción”.

Por último, nos resta analizar dos conceptos que, si bien no se restringen al campo conceptual de la TER, es relevante que el alumno construya teoremas en acción compatibles con los científicamente aceptados si se pretende analizar la TER desde una postura contextualizada epistemológicamente. Nos referimos a los conceptos de *postulado* y *teoría científica*. Hemos analizado ya, a partir de las categorías elaboradas, que los alumnos consideran que los postulados forman parte de las teorías científicas. Sin embargo, el status epistemológico que le otorgan no se corresponde con el científicamente adoptado ya que lo asumen como una “creencia” que no necesariamente tiene un fundamento en el marco de una disciplina científica y no como un principio asumido dentro de la misma que, conjuntamente con otros enunciados de diverso grado de generalidad conforman las teorías científicas. El postulado no constituye un estadio previo al de “teoría científica”. En cuanto a las teorías científicas, los alumnos reconocen parte de su función, como es la explicativa, pero no identifican otro aspecto fundamental como es la capacidad predictiva. Algunos teoremas en acto que inferimos del análisis de estos conceptos son: “los postulados son creencias que pueden convertirse en teorías científicas”; “las teorías científicas permiten explicar fenómenos”.

#### *Elaboración de objetivos - obstáculos<sup>7</sup>*

De los teoremas-en-acto inferidos, que parecen ser no apropiados para que los alumnos puedan comprender los científicamente consensuados en el contexto de la TER, se seleccionan aquellos que consideramos pueden ser transformados en objetivos para nuestra propuesta didáctica y que incluyen la superación de los obstáculos por parte del alumno para realizar un aprendizaje significativo del tema TER.

Recordemos que para el planteamiento de los objetivos seguimos las recomendaciones de Astolfi (1997) de seleccionar de la diversidad de objetivos que podrían plantearse aquellos que mejor se adapten para una secuencia didáctica apropiada para el nivel educativo en que se trabaja, en el sentido de ser lo suficientemente exigentes como para que la tarea sea de interés para el alumno pero teniendo en cuenta que el alumno no quede desbordado por el mismo.

En la siguiente tabla se presenta una síntesis de los conceptos analizados para la enseñanza de la TER, teoremas - en - acto inferidos y objetivos elaborados para una propuesta didáctica a partir del análisis de los obstáculos identificados. Se pretende mostrar en el cuadro la convergencia de los tres ejes que se han trabajado hasta el momento: el disciplinar y

---

<sup>7</sup> En nuestra investigación, la función que Martinand otorga al docente respecto de la identificación de las representaciones de los alumnos, la asumimos nosotros, como investigadores, para la elaboración de la propuesta didáctica. Esto no significa que la misma sea “cerrada”, ya que el docente que la implemente puede realizar los aportes que crea oportuno para su grupo particular de alumnos.

epistemológico mediante la selección de los conceptos relevantes para el aprendizaje de la TER; el eje psicológico con la identificación de teoremas – en – acto y el eje didáctico con la elaboración de objetivos – obstáculos.

### **Comentarios finales e implicaciones didácticas**

En este trabajo hemos analizado los datos obtenidos mediante la implementación de un instrumento elaborado para analizar nociones que los alumnos, del nivel medio/polimodal de enseñanza, evidencian respecto de conceptos fundamentales de física clásica, necesarios para una adecuada conceptualización de aspectos relevantes en la TER. Los resultados obtenidos parecen indicar que los invariantes operatorios que los alumnos utilizan frente a varias situaciones, respecto de las nociones de “espacio”, “tiempo”, “sistema de referencia”, “observador”, “simultaneidad”, "postulado" y "teoría científica" no son totalmente adecuados para al comprensión de los conceptos correspondientes desde el punto de vista científico, habiéndose podido identificar varios teoremas-en-acto no apropiados que los alumnos estarían utilizando para dar sentido a las situaciones propuestas.

En términos de la teoría de Vergnaud, estos resultados pueden interpretarse asumiendo que los invariantes operatorios que los estudiantes han desarrollado en relación con los conceptos mencionados y, por lo tanto, sus esquemas de acción, no son apropiados para poder abordar la TER sin tratarlos detenidamente. Estos esquemas, que ciertamente son mucho más complejos que simples preconcepciones que haya que cambiar, les llevan a interpretar las situaciones, a resolver problemas y, por lo tanto, a darle sentido a los conceptos que son tratados en aula sin ser concientes de los mismos. Es necesario modificar estas formas de acción, de mirar, de interpretar y de operar sobre las situaciones para que los alumnos consigan, progresivamente, irse apropiando de los esquemas necesarios para la adquisición del campo conceptual de la TER.

Consideramos importante señalar que, en nuestra opinión, es comprensible que los alumnos no hayan construido representaciones adecuadas respecto de los conceptos antes mencionados, dado que en las clases de Física, por diversas razones, no es una práctica habitual realizar un abordaje de los temas combinando aspectos conceptuales, epistemológicos y psicológicos como tampoco es común tomar en consideración los aportes provenientes de la investigación en enseñanza de la Física.

Una pregunta que surge es que si la modificación de estos invariantes operatorios, que, en términos de Martinand, se convierten en *objetivos-obstáculos* que hay que superar en la enseñanza para que los alumnos puedan llegar a comprender la TER, debe ser realizada desde la TER o es necesario pasar por la revisión de los mismos desde la mecánica clásica para luego poder abordarlos desde el punto de vista relativista. El abordaje de la enseñanza de la TER desde la perspectiva de contextualización histórica e epistemológica (Arriasecq y Greca, 2002, 2005) que hemos adoptado desde el inicio de nuestras investigaciones con relación a este tema parece apuntar en este sentido.

Síntesis de los conceptos analizados para la enseñanza de la TER, teoremas - en - acto inferidos y objetivos elaborados para una propuesta didáctica a partir del análisis de los obstáculos identificados.

CONCEPTOS	TEOREMAS – EN - ACTO	OBSTÁCULOS	OBJETIVOS
<p><b>Tiempo</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El concepto de tiempo es difícil de definir.</li> <li>- El tiempo es una unidad.</li> <li>- El tiempo es absoluto.</li> <li>- El tiempo es relativo.</li> <li>- Se representa al tiempo con un reloj.</li> <li>- El tiempo es la <b>variable</b> independiente en un sistema de ejes coordenados.</li> <li>- El tiempo no se puede representar.</li> <li>- No es posible, actualmente, viajar en el tiempo por cuestiones tecnológicas.</li> <li>- No es posible viajar en el tiempo físicamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los alumnos asumen que el concepto de tiempo que se utiliza en el ámbito científico es el mismo que el utilizado en el lenguaje cotidiano.</li> <li>- Cuando los alumnos se refieren al concepto de tiempo, supuestamente desde el contexto de la ciencia, incurrir en errores tales como confundir magnitudes con unidades y no establecen claramente las relaciones entre estos conceptos y el significado del proceso de medición de la magnitud tiempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar el concepto de tiempo desde diversos enfoques: filosófico, científico y psicológico.</li> <li>- Reconocer las diversas posibilidades de representación gráfica de la magnitud tiempo.</li> <li>- Identificar los conceptos involucrados en el proceso de medición del tiempo.</li> <li>- Interpretar el concepto de tiempo en el campo conceptual de la TER estableciendo las diferencias con la mecánica clásica.</li> </ul>
<p><b>Espacio</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El espacio no se puede representar.</li> <li>- El espacio es el lugar que ocupan los cuerpos y los huecos que quedan entre ellos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las representaciones de los alumnos respecto del espacio coinciden con el modelo platónico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reelaborar el modelo construido de espacio, adecuándolo al requerido en la mecánica clásica.</li> <li>- Interpretar el concepto de espacio en el campo conceptual de la TER estableciendo las diferencias con la mecánica clásica.</li> </ul>

<b>Observador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El observador puede ser un individuo o un instrumento que registra datos detalladamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los alumnos vinculan la idea de observador con la de una persona que "observa", otorgándole el sentido de "ver" o "mirar".</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redefinir la noción de observador adecuándola a la TER.</li> </ul>
<b>Simultaneidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dos sucesos son simultáneos cuando ocurren al mismo tiempo y en el mismo lugar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los alumnos consideran que la simultaneidad de eventos sólo puede ocurrir cuando éstos acontecen en un mismo lugar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar las diversas posibilidades de eventos simultáneos en mecánica clásica.</li> <li>- Analizar las diversas posibilidades de eventos simultáneos en la TER.</li> </ul>
<b>Medición</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lo más importante en el proceso de medición es el instrumento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para el alumno no es relevante el rol del observador en el proceso de medición.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distinguir, desde el punto de vista físico, que en el contexto de la TER "ver" no es lo mismo que "medir."</li> <li>- Analizar la relación entre proceso de medición, observador e instrumentos.</li> </ul>
<b>Sistema de Referencia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para resolver problemas de Física no es necesario tener en cuenta el sistema de referencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ante situaciones problemáticas concretas que requieran del concepto de sistema de referencia para su resolución, los alumnos no lo utilizan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resolver diferentes situaciones problemáticas que requieran ser analizadas desde diferentes sistemas de referencia.</li> </ul>
<b>Postulado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los postulados son creencias que pueden convertirse en teorías científicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los alumnos no otorgan el significado epistemológicamente correcto al concepto de postulado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar el rol de los postulados en la TER.</li> </ul>
<b>Teoría científica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las teorías científicas permiten explicar fenómenos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los alumnos manifiestan una visión restringida respecto de las teorías científicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Discutir el status actual de la TER.</li> </ul>

Actualmente, estamos desarrollando una propuesta didáctica para el abordaje de la TER a partir de los resultados obtenidos en nuestros trabajos de investigación al respecto. El marco teórico, como ya hemos mencionado, contempla los aspectos conceptuales propios de la temática que se pretende abordar, la epistemología de Bachelard, la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud y los aportes de la didáctica francesa, particularmente la propuesta de objetivos - obstáculos de Martinand. En el diseño de la propuesta se tienen en cuenta seis aspectos principales (Astolfi, 2000):

- ? *el análisis del contenido a enseñar* que, aunque parezca evidente no siempre se realiza y es fundamental para determinar el abanico de objetivos posibles que pueden ser seleccionados – aquí se incluye, fundamentalmente, un análisis de índole epistemológico–;
- ? *la identificación del perfil inicial* del grupo de alumnos con el que se trabajará (representaciones y formas de razonamiento);
- ? *el progreso intelectual por realizar* que permite tomar las decisiones didácticas vinculadas a la identificación de los obstáculos superables y el progreso intelectual correspondiente a la superación de los obstáculos; la elaboración del dispositivo didáctico que debe ser coherente con el progreso intelectual que se pretende lograr. Por coherencia estamos asumiendo que las situaciones-problema que se proponen deben ser diseñadas de manera tal que los obstáculos estén presentes. En este punto es necesario contemplar cómo se redactan las consignas para el trabajo de los alumnos y el tipo de herramientas que deberán utilizar (oral, escrita, esquematización, representación gráfica, etc.);
- ? *las modalidades de diferenciación*, entendiendo por diferenciación aspectos tales como la diversidad de herramientas de trabajo en clase, los estilos de intervención aplicados por el docente, las decisiones en cuanto a la formación de grupos de trabajo con los alumnos, etc. Las funciones de la “diferenciación“ son diversas: evitar la monotonía en el trabajo del aula, cuando persiste una dificultad y se la enfoca de otra manera y como un medio de control para evaluar cómo está funcionando la propuesta didáctica;
- ? *la evaluación*, asumida como un proceso continuo que comienza con el diagnóstico de las representaciones de los alumnos y la elaboración de los objetivos-obstáculos.

Así, la propuesta consta de cuatro etapas. En la primera, se analizan cuestiones de índole histórico – epistemológico referidas a la noción de ciencia, características del trabajo científico, evolución de las ideas en ciencia, influencias del contexto social, histórico y cultural en el surgimiento de las teorías científicas y validación de las mismas. En una segunda etapa se realiza una profunda revisión de los conceptos de mecánica clásica que son necesarios para interpretar la TER o, incluso, que se modifican sustancialmente a partir de la misma. Luego se abordan los conceptos de electromagnetismo que entran en conflicto con la mecánica clásica y son retomados por Einstein en la TER. Por último, se discuten los aspectos fundamentales de la TER, partiendo del artículo original de 1905 y analizándolo desde diversas perspectivas, de manera tal que el alumno tenga la posibilidad construir nuevos esquemas de acción que le permitan abordar situaciones que requieren la reformulación de conceptos clásicos. Los conceptos claves de la TER son retomados, en diferentes etapas de la puesta en práctica de la propuesta, recurriendo a diversas representaciones de los mismos tales como la algebraica y la gráfica, permitiendo con esta clase de representación realizar

estimaciones cualitativas que incluyen la posibilidad de comparar las mediciones obtenidas por diferentes observadores, establecer la simultaneidad o no de acontecimientos, etc. Consideramos que esta propuesta constituirá un material didáctico innovador apropiado para ser usado por los docentes que deseen incorporar el tema de la TER en sus clases.

## Referencias

- ARRIASSECQ, 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*, vol. 8, Nro. 1, pp. 55 – 69.
- ARRIASSECQ, I. y GRECA, I. 2003. 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, en <http://www.saum.uvigo.es/reec>. ISSN: 1579-1513.
- ARRIASSECQ, I. y GRECA, I. 2004. 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, II ENCUENTRO IBEROAMERICANO SOBRE INVESTIGACIÓN BÁSICA EN EDUCACIÓN EN CIENCIAS, 21 a 24 de septiembre de 2004, Universidad de Burgos, España.
- ARRIASSECQ, I, GRECA, I. y STIPCICH, S. Dificultades para la conceptualización de algunos tópicos de la Teoría de la Relatividad Especial en alumnos de nivel polimodal. 7° Simposio de Investigación en Educación en Física. Santa Rosa, La Pampa, 7 al 9 de octubre de 2004. Asociación de profesores de Física de la Argentina y Universidad Nacional de la Pampa. Publicado el artículo completo. CD (I.S.B.N. 950 - 863 - 063 -9).
- ARRIASSECQ, I. y GRECA, I. 2005
- \_\_\_\_\_ a). *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*. *Revista enseñanza de la Física de Argentina*. vol. 18, Nro. 1 y 2, pp. 15 – 25 y 17 - 29. ISSN: 0326 7091.
- \_\_\_\_\_ b) Approaches to Special Relativity Theory in School and University Textbooks in Argentina. Aceptado para publicar en *Science & Education* (SCED996).
- ASTOLFI, J. P. 1999 El “error”, un medio para enseñar, Sevilla, Díada editora.
- ASTOLFI, J. P., 2000. Aprender en la escuela, Dolmen Ediciones.
- ASTOLFI, J. P. 2001. *Conceptos clave en la Didáctica de las disciplinas*, Sevilla, Díada editora.
- AUBRECHT, G. J. 1989. Redesigning courses and textbooks for the twenty - first century. *American Journal of Physics*, 57 (4), 352 - 359.
- BACHELARD, G. 1997. *La formación del espíritu científico*, Siglo XXI.
- CAPUANO, Vicente 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), 70 - 71.

- ESCUADERO, C., MOREIRA, M. y CABALLERO, C. (2003). Teoremas-en-acción y conceptos-en-acción en clases de física introductoria en secundaria. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10 (3). [http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol2/n2/v2\\_n3.html](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol2/n2/v2_n3.html).
- FERMILAB 1998. Discovering the nature of nature. Internet: <http://www.fnal.gov/fermilab.23>.
- FRANCHI, A. 1999. *Considerações sobre a teoria dos campos conceituais*. Alcântara
- IRESON, G. 1996. Relativity at A- level: a looking glass approach. *Physics Education*, 31(65), 356 - 361.
- 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), 16 - 21.
- HEWSON, P. (1982). A case study of conceptual change in special relativity: The influence of prior knowledge in learning. *European Journal of Physics*, (4), 61-76.
- 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.
- KALMUS, P. 1992. Particle physics at A - level - the universities 'viewpoint. *Physics Education*, 27(2), 62 - 64.
- MARTINAND, J. - L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berna, Peter Lang, 1986.
- MOREIRA, M. 2000. *Reporte final de la VII Conferencia Interamericana sobre Educación en Física*. Canela, Porto Alegre, Brasil.
- MOREIRA, M. 2004. La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área. En Moreira, M. Y Greca, I. Eds.: *Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales*. Instituto de Física, Universidad Federal de Río Grande del Sur, Porto Alegre, Brasil.
- 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.
- MACH, E. 1949. *Desarrollo crítico de la Mecánica*. Espasa- Caple, Bs. As.
- MARTINS, A. y PACCA, J. (2005). O conceito de tempo entre estudantes de ensino fundamental e médio: uma análise à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10 (3). [http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n3/v10\\_n3\\_a2.html](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n3/v10_n3_a2.html).
- 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), 391 - 404.
- PÉREZ, H. y SOLBES, J. 2003. Algunos problemas en la enseñanza de la relatividad. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (1), pp. 135 - 146.
- PANSE, S., RAMADAS, J. and KUMAR, A.(1994). Alternative conceptions in Galilean Relativity: Frames of references. *International Journal of Science Education*. (16), 63-82.
- POSNER, G., STRIKE, A., HEWSON, P. and GERTZOG, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, (66), 211-227.
- RICCI, T. (2000). *Teoria da Relatividade especial*. Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS.

- RAMADAS, J.; BARVE, S., and KUMAR, A. (1996). Alternative conceptions in Galilean Relativity: Inertial and non-inertial observers. *Science Education*, (18), 615-619.
- SALTIEL, E. y MALGRANGE, J. (1980). Spontaneous ways of reasoning in elementary kinematics. *European Journal of Physics*, (1), 73-80.
- 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.
- TOLEDO, B., ARRIASSECQ, I. Y SANTOS, G. (1997). El pasaje de la Física clásica a la relativista desde la perspectiva del cambio conceptual. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 15(1), pp. 79 - 90.
- VILLANI, A. y ARRUDA, S. 1998. Special Theory of Relativity, Conceptual Change and History of Science, *Science & Education*, v. 7, pp. 85 – 100.
- VILLANI, A. y PACCA, J. (1987). Students' spontaneous ideas about the speed of light. *International Journal of Science Education*, (9), 55-66.
- VERGNAUD, G. 1990. La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23), p. 133-17.
- WILSON, B. 1992. Particle physics at A - level - a teacher' viewpoint. *Physics Education*, 27(2), 64 - 65.

## ANEXO 1

### Instrumento utilizado con los alumnos del nivel polimodal

#### Algunas cuestiones para analizar

Las siguientes preguntas o cuestiones que se plantean a continuación, tienen por objetivo ponernos de acuerdo en el significado de algunos conceptos que son necesarios para el tema que abordaremos a continuación. Por favor, responde de la forma más completa posible, sin preocuparte por lo correcto o incorrecto de tu respuesta, dado que no estas siendo evaluado. Sí es importante que te expreses de la mejor forma que puedas para nos acerquemos lo más posible a tu interpretación de cada cuestión.

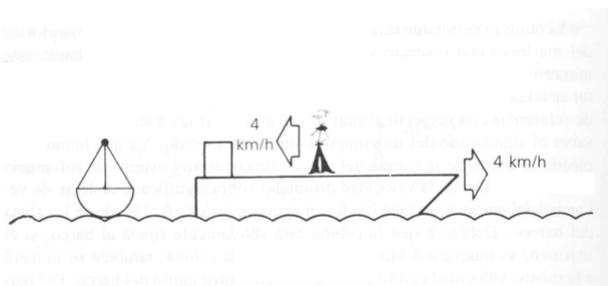
1. a) ¿Qué significa para vos el concepto de *tiempo*?
  - b) ¿Con qué otros conceptos relacionarías a *tiempo*? Intenta realizar una lista que contenga aquellos conceptos, hechos, cosas o fenómenos que te parecen están relacionados con el concepto de *tiempo* o que opinas que no pueden dejar de considerarse cuando se habla de *tiempo*.
  - c) ¿Se puede representar gráficamente el concepto de tiempo? Ejemplifica.
  - d) ¿Crees que se puede *viajar en el tiempo*? Ejemplificá y Justificá.
2. a) ¿Qué significa para vos el concepto de *espacio*?
  - b) ¿Con qué otros conceptos relacionarías a *espacio*? Intentá realizar una lista que contenga aquellos conceptos, hechos, cosas o fenómenos que te parecen están relacionados con el concepto de *espacio* o que opinas que no pueden dejar de considerarse cuando se habla de *espacio*.
  - c) ¿Se puede representar gráficamente el concepto de espacio? Ejemplificá.
3. a) Cuando en un texto o problema de Física aparece el concepto de *observador*, ¿qué significa para vos?
  - b) ¿Con qué otros conceptos relacionarías a *observador*? Intenta realizar una lista que contenga aquellos conceptos, hechos, cosas o fenómenos que te parecen están relacionados con el concepto de *observador* o que opinas que no pueden dejar de considerarse cuando se habla de *observador*.
4. ¿Qué significa para vos *simultaneidad*? Ejemplificá.

Intenta realizar una lista que contenga aquellos conceptos, hechos, cosas o fenómenos que te parecen están relacionados con el concepto de *simultaneidad* o que opinas que no pueden dejar de considerarse cuando se habla de *simultaneidad*.
5. ¿Qué elementos consideras indispensables para *medir* una determinada cantidad de una magnitud? En el caso de dos sucesos que ocurren simultáneamente, ¿qué rol cumple el proceso de medición en la determinación de la simultaneidad?
6. ¿En que consiste una *paradoja*?
7. ¿Qué significan para vos los conceptos de *postulado* y *teoría científica*? Ejemplifica.
8. ¿Sabes quién es Albert Einstein? ¿Conoces algún aporte suyo a la ciencia?

### Algunas cuestiones para analizar desde la Física

9. Un barco (como muestra la figura al pie de la página) navega en un lago, sin viento ni perturbaciones significativas en el agua. Se puede considerar que el barco se desplaza en línea recta y con velocidad constante. Un marinero también camina por la cubierta del barco y se supone que también lo hace en línea recta y con velocidad constante. A partir de los datos que se presentan en la figura responde las siguientes cuestiones:

- Indica posibles valores para la velocidad del barco.
- Indica posibles valores para la velocidad del marinero.
- ¿Podrías determinar la velocidad del marinero respecto de la boya?
- Suponé que el marinero deja caer desde un mástil un objeto sobre la cubierta del barco. Cuando el propio marinero describe el movimiento del objeto dice que cae al pie del mástil describiendo una línea recta, mientras que un observador que lo ve desde el muelle dice que el objeto describe una trayectoria parabólica como resultado de la composición del movimiento de caída más el movimiento que lleva el buque. ¿Cuál de los dos observadores tiene razón? Por favor, justificá tu respuesta.



10. a) ¿Consideras que el concepto de *tiempo* que se utiliza en *Física* tiene el mismo significado que en la vida cotidiana? Justifica tu respuesta. Si lo deseas, puedes ejemplificar.

b) Marcá la opción que consideres más adecuada de acuerdo con tu experiencia:

- En las clases de Física que has tenido hasta el momento se discutió en profundidad, al menos en alguna oportunidad, el concepto de tiempo.
- El concepto de tiempo se usó en las clases de Física, dando por supuesto que todos tenían claro el concepto.
- No recuerdo cómo se trató el concepto de tiempo en las clases de Física.

11. a) Si tuvieras que elegir entre el texto 1 ó el texto 2 como más representativos de *tu* idea acerca del concepto de espacio, ¿cuál elegirías? ¿Por que?

Texto 1:

*"El espacio (o el lugar) es una especie de cualidad, vinculada con la posición, que tienen los objetos materiales*

Texto 2:

*"... También es posible, sin embargo, pensar de manera diferente. Podemos poner en una caja un número definido de granos de arroz, de cerezas o de algo parecido. Se trata, en este caso, de una propiedad del objeto material "caja", propiedad que debe considerarse "real" de la misma manera en que lo es la caja misma. A tal propiedad se la puede llamar el "espacio" de la caja. Puede haber otras cajas que, en este sentido, tengan un "espacio" igualmente amplio. Este concepto de "espacio", adquiere un significado independiente de cualquier relación con un objeto material en particular. De esta manera, con la extensión*

b) Marcá la opción que consideres apropiada más adecuada de acuerdo con tu experiencia:

- En las clases de Física que has tenido hasta ahora se discutió en profundidad, al menos en alguna oportunidad, el concepto de *espacio*.
- El concepto de espacio se usó en las clases de Física dando por supuesto que todos los alumnos tenían claro el concepto.
- No recuerdo cómo se trató el concepto de *espacio* en las clases de Física.

ANEXO 2

Tabla de síntesis de las relaciones entre ítems de la encuesta realizada a los alumnos

	1(a)	1(b)	1(c)	1(d)	2(a)	2(b)	2(c)	3(a)	3(b)	4	5	6	7	9(a)	9(b)	9(c)	9(d)	10(a)	10(b)	11(a)	11(b)					
C O N C E P T O S	Tiempo				Espacio				Observador	Similitud	Medición	Paradoja	Positividad y Ley Científica	Sistema de referencia				Tiempo		Espacio						
1(a)	•	•	•	•														•	•							
1(b)																										
1(c)																										
1(d)																					•	•				
2(a)					•	•	•																			
2(b)																										
2(c)																										
3(a)								•		•	•						•									
3(b)										•	•						•									