

APPLETS PARA LA ENSEÑANZA DE ELEMENTOS DE RELATIVIDAD

ALONSO SÁNCHEZ¹, MANUEL y SOLER SELVA², VICENT

¹ IES Leonardo Da Vinci, Alicante. <manuelalonso@inicia.es>

² IES Sixto Marco, Elx. <vicentsoler@wanadoo.es>

Palabras clave: Relatividad; Bachillerato; *Applets*

1. OBJETIVOS

El 2005 ha sido declarado por la ONU año mundial de la Física, con motivo del centenario del *annus mirabilis* de Albert Einstein, que publicó tres artículos decisivos para el desarrollo de esta ciencia. En uno de ellos, *Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento*, planteó las bases de la relatividad. Cien años después parece indiscutible que aspectos básicos de esta teoría deberían formar parte del bagaje de cultura general de, al menos, los ciudadanos y ciudadanas que han cursado un bachillerato de ciencias. Pero ocurre que hoy la relatividad tiene un peso insuficiente en los programas oficiales. La última reforma educativa estatal suprimió el tema de relatividad de los contenidos mínimos de física de segundo de bachillerato, aunque dejó escrito que se necesitan aspectos de esta teoría para otros contenidos de física moderna. En este momento cada Comunidad Autónoma es responsable de incluir, o no, en su currículo un tema adicional de relatividad o algunos contenidos relativistas en otros temas. En nuestra opinión, esta situación precaria de la relatividad en la enseñanza preuniversitaria puede plantear problemas de importancia a la enseñanza de la física.

La situación se agrava por la dificultad que encuentra el profesorado en este tema. Bastantes profesores de esta etapa no son licenciados en física y la relatividad no se incluyó en su formación universitaria. Los materiales accesibles ayudan poco a solucionar el problema. La mayoría de los libros de texto tratan la relatividad de forma muy escasa. Los libros técnicos tienen excesivo formalismo matemático (inapropiado para un bachillerato) y están dirigidos a investigadores, no a docentes. Por último, algunos libros de divulgación aportan buenas ideas, pero tampoco están pensados para docentes y resulta complicado extraer de ellos un tema bien organizado y que se adapte al programa.

Nuestro trabajo quiere contribuir a paliar estas carencias: intentamos aportar unos materiales que, siguiendo orientaciones metodológicas diferentes de las tradicionales y apoyados en las tecnologías de la información, ayuden a introducir los aspectos fundamentales de la relatividad. Nos gustaría contribuir así a que cristalice un nuevo perfil de estudiante de bachillerato de ciencias y aumentar el interés por esta área del conocimiento, y por la Física en particular, a la baja en nuestro entorno (Pintó, 2003)

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PROPUESTA

Nuestra propuesta para ayudar a la enseñanza de la relatividad se concreta en los materiales y actuaciones que describimos a continuación:

- 1) El libro *Construyendo la Relatividad* (Alonso y Soler, 2002a), accesible para cualquier persona con un nivel de conocimientos equivalente a un segundo de bachillerato de ciencias y dirigido particularmente a profesores que impartan este tema en el bachillerato o en los primeros cursos de universidad.
- 2) Un programa-guía de actividades (Gil y Martínez Torregrosa, 1987; Sanmartí, 2000) que sigue el hilo conductor del libro y permite desarrollar en clase los contenidos del temario oficial del bachillerato.
- 3) Un curso de formación docente donde los profesores recrean el desarrollo del programa-guía, al tiempo que ponen a prueba y amplían sus conocimientos sobre el tema (Alonso, 2000)
- 4) Un conjunto de *applets*, de reciente elaboración, que completan algunas de las actividades más importantes del programa-guía.

La mayoría de estos materiales fue presentada en otros ámbitos. Dedicaremos esta comunicación a mostrar los *applets* y debatir sobre algunos de ellos. En primer lugar, diremos que estas aplicaciones informáticas están concebidas para clarificar los conceptos que se tratan en el programa-guía, tienen, en la mayoría de los casos, poco valor si las consideramos fuera de contexto. Resumiremos a continuación algunas peculiaridades generales del trabajo.

Todos los materiales mencionados, y en particular la propuesta que presentamos, programa-guía con *applets*, se han elaborado siguiendo una orientación de enseñanza y aprendizaje de la Física por investigación (Gil, 1993; Rodrigo y Cubero, 2000; Furió, 2001). Es decir, hacemos una presentación problematizada (Martínez Torregrosa, Verdú y Osuna, 2002; Verdú, 2005) de la relatividad. En el libro y el programa-guía, un problema científico dirige y orienta el desarrollo del tema. Se plantea el problema estructurante al inicio y se justifican poco a poco los contenidos como respuesta a los intentos de avanzar hacia su solución. Este planteamiento nos ha permitido mostrar aspectos de la evolución histórica de la relatividad, desde la física antigua hasta la relatividad general.

Respecto a la forma de organizar la docencia, avanzamos con la ayuda de una secuencia lógica de cuestiones que han de realizar los alumnos con la orientación del profesor. Esta estructura aporta una invitación continuada a la reflexión, a realizar pausas en cada actividad tratando de anticipar algo de la respuesta o, simplemente, a plantearse la cuestión ayudando a que el avance posterior sea más significativo.

Una característica importante ha sido dar prioridad a los aspectos cualitativos. Procuramos que el alumno verbalice al máximo para ayudar a la (re)construcción de los conocimientos. Hemos tenido presente que, entre las demandas fijadas en la construcción de textos y otros materiales de enseñanza, tiene un papel fundamental el dominio de habilidades cognitivo-lingüísticas: describir, explicitar, justificar y argumentar (Jorba, 1998; Sanmartí, 2002)

No obstante, también hemos procurado que el énfasis en los detalles cualitativos no reste rigor al tratamiento formal. En este sentido, hemos querido dar al tema un perfil actual, recogiendo propuestas recientes sobre la enseñanza de la relatividad (Okun, 1989; Strnad, 1991; Taylor y Wheeler, 1992) y eliminando tratamientos anteriores que han mostrado ya sus limitaciones. No se usan conceptos alejados de la terminología técnica, como el de masa relativista. Y, en cambio, tienen un papel destacado los diagramas de Minkowski (1908) para mostrar de forma sencilla, pero profunda, la realidad tetradimensional relativista. Este enfoque ha estado hasta ahora ausente en bachillerato.

Se intenta facilitar el proceso de cambio conceptual, epistemológico y actitudinal de los estudiantes (Duschl, 1997; Gil, 1999). Por ello hemos considerado de forma explícita algunos de los problemas principales que pueden ser obstáculo para el aprendizaje de elementos de la relatividad (Hewson, 1982; Villani y Pacca, 1987; Alemañ, 2000; Alonso y Soler, 2002b; Scherr et al, 2002; Pérez y Solbes, 2003). Se pone especial cuidado en contribuir a superar estas dificultades, aunque sin olvidar que las concepciones alternativas son persistentes, pero también que algunas pueden constituir un punto de apoyo en el acceso al conocimiento científico (Viennot, 1996; Furió, 2001)

Se incluyen aspectos que caracterizan la metodología científica. Por ejemplo, a través de problemas planteados como investigación (Gil et al., 1989), con actividades que exigen la emisión de hipótesis, análisis de diseños experimentales y contrastación de hipótesis. Véase, por ejemplo, el experimento de Michelson y Morley o la medida de la velocidad de la luz (Gülmez, 1997; Gimeno et al., 2000).

También incluimos cuestiones que conducen al estudiante a reflexionar sobre aspectos de las relaciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad (Solbes y Vilches, 1992; Acevedo, 1995; Cajas, 2001; Solbes, 2003) referidos a la relatividad.

3. BREVES COMENTARIOS SOBRE LOS APPLETS

Como decimos más arriba, actualmente trabajamos en la incorporación a la propuesta de elementos de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación, TIC, (Brooks, 1997; Gras-Martí y Cano, 2000; Torres y Soler, 2003), no únicamente *applets*, también otros elementos, como videos y páginas web.

Respecto de los *applets*, todos han sido elaborados por nosotros usando el programa *Modellus* (Duarte, 1996). Pretenden ayudar al profesor a mostrar de forma más clara y atractiva algunas cuestiones. También esperamos que estimulen a los estudiantes a incrementar su interés por la relatividad y a avanzar con mayor autonomía en determinados momentos.

Nos gustaría decir que casi todas las animaciones tienen un perfil interactivo: piden a los usuarios que alteren condiciones del problema y, en ocasiones, también les formulan algunas cuestiones. Destacamos también que en todas ellas se puede entrar en el modelo físico-matemático y conocer las leyes relativistas que sustentan la animación. El programa *Modellus* es gratuito, muy sencillo de manejar y permite, por ejemplo, mostrar simultáneamente sendas ventanas con el modelo físico-matemático y con las condiciones iniciales del problema. Con la orientación adecuada, esta posibilidad de alterar el *applet* es una fuente añadida de aprendizaje para alumnos y docentes.

En el anexo comentamos de forma muy escueta 3 de las 25 aplicaciones informáticas, *applets*, ya elaboradas para el programa-guía de relatividad.

4. CONCLUSIONES

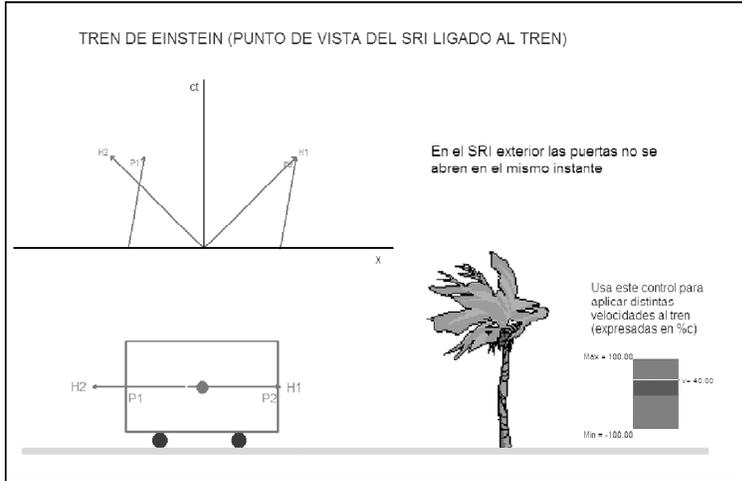
Consideramos plenamente justificado impartir la relatividad en el bachillerato. En lugar de suprimirla de los contenidos mínimos convendría plantearse si no es más oportuna una revisión crítica sobre la forma como se venía impartiendo y aportar soluciones alternativas. Potenciar la enseñanza de la obra de Einstein en su centenario es el mejor homenaje que podemos hacer a la Física. Desde este punto de vista, el reto se traslada a escoger los contenidos mínimos, la metodología y los materiales que puedan hacer posible la enseñanza y el aprendizaje de la relatividad. Este trabajo constituye una propuesta en este sentido.

REFERENCIAS

- ACEVEDO, J. A. (1995), Educación tecnológica desde una perspectiva CTS. Una breve revisión del tema, *Alambique*, 3, 75-84
- ALEMAÑ, R. A. (2000), Enseñanza por cambio conceptual: De la física clásica a la relatividad, *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (3), 463-471
- ALONSO, M., (2000), Diagramas posición-tiempo para enseñar relatividad en el bachillerato, *Alambique*, 23, 109-117
- ALONSO, M. y SOLER, V. (2002a), *Construyendo la relatividad*, Editorial Sirius, Madrid
- ALONSO, M. y SOLER, V. (2002b) Reflexions sobre la forma habitual d'introduir els conceptes de la Dinàmica relativista en batxillerat. *VI Jornades de l'AEFQ-Curie*. 44-55 <http://www.curiedigital.com>

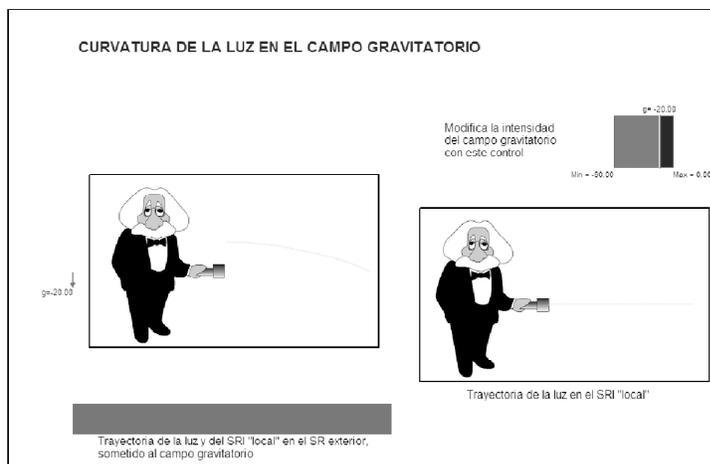
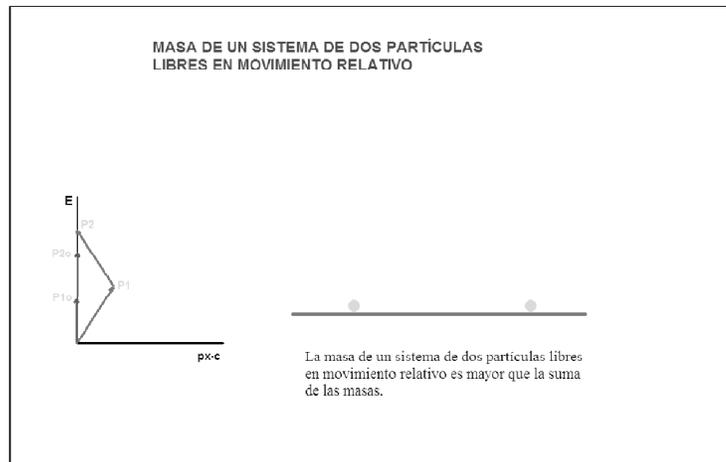
- BROOKS, D. W. (1997) Web-Teaching. *A guide to designing interactive teaching for the world wide web*, Innovations in Science Education and Technology, KA/PP
- CAJAS, F. (2001), Alfabetización científica y tecnológica: la transposición didáctica del conocimiento tecnológico, *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 243-254
- DUARTE, V. (1996), *Modellus*, <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/>, Universitat de Lisboa
- DUSCHL, R. A. (1997) *Renovar la Enseñanza de las Ciencias*. Madrid. Narcea
- FURIÓ, C. (2001), La enseñanza-aprendizaje de las ciencias como investigación: un modelo emergente, en Jenaro Guisasola, Lourdes Pérez, *Investigación en Didáctica de la Ciencias Experimentales basadas en el Modelo de Enseñanza-Aprendizaje como Investigación Orientada*, Universidad del País Vasco, Bilbao
- GIL, D., (1993), Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación, *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212.
- GIL, D., (1999), ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 503-512
- GIL, D., DUMAS CARRÉ, A., CAILLOT, M., MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y RAMÍREZ, L. (1989), La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación, *Investigación en la Escuela*. 6, 3-20
- GIL, D., y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1987), Los programas-guía de actividades: Una concreción del modelo constructivista del aprendizaje de las ciencias, *Investigación en la Escuela*, 3, 3-12
- GIMENO, B., MARTÍ, I., SANCHIS, M. A. y VERGARA, M. (2000), Determinación indirecta de la velocidad de la luz en el vacío mediante un circuito resonante, *Revista Española de Física*, 14 (4), 41-44
- GRAS-MARTI, A, CANO, M. (2000), Un entorn virtual per a l'ensenyament/ aprenentatge, *Eines*, 18, 61
- GÜLMEZ, E. (1997), Measuring the speed of light with a fiber optic kit: An undergraduate experiment, *Am. J. Phys.*, 65 (7), 614-618
- HEWSON, P. (1982), A Case Study of Conceptual Change in Special Relativity: The Influence of Prior Knowledge in Learning, *Eur. J. Sci. Educ.*, 4 (1), 79-94
- JORBA, J. (1998), La comunicació i les habilitats cognitivolingüístiques, 37-58, en Jaume Jorba, Isabel Gómez, Àngels Prat (eds.): *Parlar i escriure per aprendre. Ús de la llengua en situació d'ensenyament-aprenentatge des de les àrees curriculars*, ICE-UA de Barcelona, Barcelona
- PINTÓ, R. (2003), La problemàtica de l'ensenyament de la física i química, *Revista de física*, 3 (4), 50-57
- ROQUÉ, X. (2000), *Albert Einstein. La teoria de la relativitat i altres textos*, IEC-Eumo Editorial, Barcelona
- SCHERR, R. E., SHAFFER, P. S., VOKOS, S. (2002), The challenge of changing deeply held student about the relativity of simultaneity, *Am. J. Phys.*, 70 (12), 1238-1248.
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J., OSUNA, L. y VERDÚ, R. (2002), Enseñar y aprender en una estructura problematizada, *Alambique*, 34, 47-55
- MINKOWSKI, H. (1908), Space and Time, en *The principle of Relativity*, Dover Pub. Inc.
- OKUN, L. B. (1989), The Concept of massa, *Physics Today*, 42 (6) , 31-36
- PÉREZ, H. y SOLBES, J., (2003), Algunos problemas en la enseñanza de la relatividad, *Enseñanza de las ciencias*, 21(1), 135-146
- RODRIGO, M. J., CUBERO, R. (2000): Constructivismo y enseñanza de las ciencias, p. 85-107, en Francisco J. PERALES i Pedro CAÑAL (dirección), *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias*, Marfil, Alcoi
- SANMARTÍ, N. (2000): "El diseño de unidades didácticas", p. 239-266, en Francisco J. PERALES y Pedro CAÑAL (dirección), *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias*, Marfil, Alcoi
- SANMARTÍ, N. (2002): *Aprender ciències tot aprenent a escriure ciència*, Grup LIEC, Universitat de Barcelona, Bellaterra
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1992), El modelo constructivista y las relaciones ciencia/ técnica/sociedad (CTS), *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 181-186
- SOLBES, J. (2003), Las complejas relaciones entre ciencia y tecnología. *Alambique*. 38, 8-20
- STRNAD, J. (1991), Velocity-dependent mass or proper time? *Eur. J. Phys.*, 12, 69-73.
- TAYLOR, E. F. y WHEELER, J. A. (1992), *Spacetime Physics. Introduction to special relativity*, W.H. Freeman and Co., New York
- TORRES, A. y SOLER, V (2003), Internet i Applets per a la Física de 2n de BAT. En els inicis d'una experiència didàctica, *VII Jornades de l'AEFQ-Curie*. <http://www.curiedigital.com>
- VERDÚ, R. (2005), *La estructura problematizada de los temas y cursos de Física y Química como instrumento de mejora de su enseñanza y aprendizaje*. Tesis doctoral (Universitat de València)
- VIENNOT, L. (1996), *Razonar en física. La contribución del sentido común*, A. Machado Libros, Madrid
- VILLANI, A., PACCA, J. L. A. (1987), Students' spontaneous ideas about the speed of light, *Int. J. Sc. Educ.*, 9 (1), 55-

ANEXO
APPLETS COMENTADOS



Simultaneidad: El *applet* reproduce el experimento mental del tren de Einstein. Comunicando al tren una velocidad (positiva, negativa, nula) alteramos el orden temporal de apertura de las puertas del tren. La animación también dibuja un diagrama espacio-tiempo que resuelve gráficamente el problema.

Masa de un sistema de dos partículas: Mientras se separan las partículas, el *applet* dibuja los cuadrivectores impulso-energía, mostrando que la masa del sistema de las dos partículas libres (módulo del cuadrivector impulso-energía del sistema) es mayor que la suma de las masas de dichas partículas (suma de módulos de los cuadrivectores)



Curvatura de la luz en el campo gravitatorio: El *applet* hace uso del principio de equivalencia para mostrar que la luz "cae" en el campo gravitatorio. Modificando la intensidad del campo gravitatorio alteramos la curvatura del rayo de luz.