

TALLER SOBRE ENSEÑANZA DE LA RELATIVIDAD EN BACHILLERATO: UNIDAD DIDÁCTICA RENOVADA, LIBRO Y ANIMACIONES INFORMÁTICAS

Alonso Sánchez, Manuel (*) y Soler Selva, Vicent ()**

* IES “Leonardo Da Vinci”, Alicante. manuelalonso@inicia.es

** IES “Sixto Marco”, Elx. vicent@medtelecom.net

1. PRESENTACIÓN

En 2003 tuvimos participamos en el XVI Congreso de ENCIGA, celebrado en Rodeira, con una ponencia y un taller dedicados a mostrar nuestra propuesta para la enseñanza de elementos de relatividad en el bachillerato (Alonso y Soler, 2003). Allí trabajamos algunas actividades del programa-guía de clase.

Señalábamos entonces una característica fundamental de la propuesta: su carácter abierto y provisional, puesto que, decíamos, son los alumnos y los profesores participantes en cursos de formación docente quienes más y mejor nos ayudan en un proceso continuado de mejora de los materiales. Entendíamos, pues, que quedaba mucho trabajo por hacer y nos propusimos añadir a la propuesta otros elementos potencialmente útiles para incrementar la motivación de los alumnos, de los docentes y, en general, de cualquier persona que quiera aproximarse a la relatividad a un nivel introductorio o en clave de divulgación.

Así, al seguir poniendo en práctica la unidad didáctica y someterla a un proceso de evaluación continua y formativa inspirada por estos propósitos, fuimos tomando conciencia de la necesidad de incorporar elementos de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) (Brooks, 1997; Gras-Martí y Cano, 2000; Torres y Soler, 2003), tales como *applets*, videos, enlaces, etc. Estas incorporaciones han ido afectando a los materiales iniciales, y ahora es un buen momento para presentar un producto renovado, consecuencia de este proceso de innovación e investigación (Perales y otros, 2002).

Dicho producto, lo podemos desglosar en los siguientes tres elementos:

- 1) El libro *Construyendo la Relatividad* (Alonso y Soler, 2002), que ya llevamos – podría decirse que a modo de primicia- al Congreso de Rodeira. Es accesible para cualquier persona con un nivel de conocimientos equivalente a un segundo de bachillerato de Ciencias y se dirige especialmente a profesores que puedan impartir este tema en el bachillerato o, a un nivel sencillo, en la universidad. Abarca desde el estudio de la solución que dio la mecánica newtoniana al problema de la relatividad de los movimientos, hasta una introducción cualitativa a la relatividad general.

- 2) Un CD con materiales interactivos, también dedicado a los docentes, sin excluir cualquier otra persona amiga de la teoría relativista. Nos agrada decir que este CD fue seleccionado para participar en Concurso Nacional de Ciencia en Acción, celebrado el pasado septiembre en Tenerife y, finalmente, obtuvo el primer premio en el apartado de materiales didácticos (Alonso y Soler, 2005a). El CD contiene: 1) La última versión de la unidad didáctica en dos formatos: el programa-guía para el alumno y el mismo tema comentado para el profesor. 2) Una presentación power que resume de forma algo más visual algunos de los conceptos principales de teoría. 3) Documentación (textos, biografías, desarrollos, bibliografía, enlaces,..) vinculada a la unidad y a la presentación. 4) 28 animaciones informáticas de elaboración propia, todas ellas interactivas y diseñadas para que los usuarios trabajen en conceptos fundamentales del tema. Las animaciones también se vinculan a la presentación y a la unidad.

- 3) Un curso de formación docente, que venimos impartiendo desde hace bastantes años en Centros de Formación del Profesorado y en la Universidad. En el curso, los profesores de física y química de bachillerato recrean el desarrollo de la unidad didáctica entera, tal como se imparte en el aula. También se familiarizan con el resto de materiales que forman parte de la propuesta. En los últimos 10 años ha realizado el curso un número cercano a 300 profesores. La aceptación de la propuesta viene siendo muy alta y nos consta que muchos profesores utilizan ahora, con buenos resultados, todo o parte del material en sus clases. Este año tuvimos el placer de impartir el curso de formación en la Comunidad de Galicia, en el CEFORE de Ferrol.

Realizaremos ahora unos comentarios sobre aspectos de la propuesta.

2. COMENTARIOS SOBRE EL LIBRO Y LA UNIDAD DIDÁCTICA

Vamos a mencionar algunas características del tema de relatividad que se reflejan tanto en el libro y en la unidad didáctica:

- Queremos señalar, en primer lugar, el hecho de que en ambos elementos (el libro y la unidad didáctica) se hace una presentación problematizada (Torregrosa, Verdú y Osuna, 2002; Verdú, 2005) de la teoría relativista. Esto significa que el tema se inicia con la formulación de un gran problema científico, que denominamos genéricamente *el problema de la relatividad*. Podemos expresar sucintamente este problema mediante la siguiente cuestión: ¿Será posible construir una teoría mecánica, estructurada con unas leyes generales únicas, pero capaces de adaptarse a la diversidad de descripciones que tiene un mismo movimiento en cada sistema de referencia? La formulación inicial de este problema contribuye a dar al tema una estructura lógica (un hilo conductor claro), porque el contenido se justifica como respuesta a los intentos de avanzar hacia la solución de ese problema. Este enfoque nos ha permitido hacer un recorrido por aspectos de la evolución histórica de la relatividad, desde la física antigua hasta la relatividad general.

- En segundo lugar, destacamos el carácter interactivo del libro (para los profesores) y de la unidad (para profesores y para alumnos) Ya se sabe que un programa-guía es, básicamente, una secuencia lógica de cuestiones que han de realizar los alumnos con la tutela del profesor (Gil y Martínez Torregrosa, 1987; Sanmartí, 2000). Al llevarlo a la práctica se produce en el aula una invitación continuada a la reflexión individual y grupal, porque se promueven pausas en cada actividad destinadas a que los estudiantes traten de anticipar algo de la respuesta o, simplemente, a que se planteen la cuestión como medio para favorecer un avance posterior más significativo. Pues bien, esta misma estructura tiene el libro y sus lectores también encuentran una secuencia de preguntas intercaladas que les ayudan a avanzar tentativamente hacia la apropiación de los conceptos relativistas. Los elementos añadidos recientemente a la propuesta también son interactivos. Las animaciones incitan a los estudiantes ponerse a sí mismos a prueba -en ocasiones en clase, otras veces en su propia casa- antes o después de tratar determinados contenidos. Y, los docentes que usan la versión actual comentada del programa-guía también disfrutan de sensaciones similares. No sólo porque los enunciados de las actividades les inducen a aportar aspectos de su solución. También, porque después de leer

una escueta respuesta, muchas veces necesitan ampliarla y pueden hacerlo “clicando” en los enlaces a las aplicaciones informáticas, a textos,..., gestionando así su propio avance.

- En tercer término, destacamos el énfasis puesto en los aspectos cualitativos, como medio para promover un análisis pausado de los conceptos, compatible, no obstante, con la debida exigencia de rigor sobre el tratamiento formal. Queremos recordar que en el libro se procura verbalizar lo máximo como medio para ayudar a la (re)construcción de los conocimientos. Lógicamente, los materiales que contiene el CD desarrollan el tema de una forma mucho más reducida, pero no por ello, decae nuestra preferencia por los detalles cualitativos de la teoría. Nos ha ayudado mucho a compatibilizar ambos objetivos (prioridad por lo cualitativo y exigencia de rigor formal) el haber optado por 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, por ejemplo, algunos conceptos alejados de la terminología técnica (pero aún presentes en los libros de texto), como el de masa relativista. Y sí tienen un papel destacado elementos gráficos y abstractos como los diagramas de Minkowski (1908). El uso de los diagramas ayuda a reducir la carga de desarrollo algebraico, pero no impide, sino todo lo contrario, que se muestren, de forma sencilla y profunda, aspectos importantes del mundo cuatro-dimensional relativista (Alonso, 2000). Estos diagramas se enseñan con detalle en el libro y también las animaciones dibujan algunos. Nos gustaría decir que este enfoque estaba hasta ahora ausente en este nivel de enseñanza.

- Otra propiedad de la propuesta que queremos mencionar se refiere a la forma de promover la apropiación de los conceptos relativistas. Hemos tenido muy en cuenta que el acceso a la relatividad especial requiere un proceso de cambio conceptual, epistemológico y actitudinal (Duschl, 1997; Gil, 1999). Se precisa superar concepciones newtonianas e ir asumiendo poco a poco las concepciones de la nueva teoría. Desplazar las concepciones clásicas y establecer correctamente la relación entre la nueva teoría relativista y la anterior mecánica de Newton. Con objeto de contribuir a este objetivo, el tema tiene en consideración algunos de los problemas principales que pueden ser obstáculo al aprendizaje de elementos de relatividad (Hewson, 1982; Villani y Pacca, 1987; Alemañ, 2000; Alonso y Soler, 2002b; Scherr et al, 2002; Pérez y Solbes, 2003) y ponemos especial cuidado en contribuir a superar estas dificultades. Como se sabe, las concepciones alternativas son persistentes, pero también es cierto que algunas pueden constituir un punto de apoyo en el acceso al conocimiento

científico (Viennot, 1996; Furió, 2001)

- En cuanto a la metodología empleada, hemos procurado dar al tema un perfil coherente con el proceso de construcción de conocimientos científicos y forman parte esencial del material actividades que requieren poner en juego aspectos de la metodología propia de la ciencia. Por ejemplo: se dedican 8 páginas del libro a discutir con todo detalle un problema abierto sobre un viaje interplanetario, planteado como investigación (Gil et al., 1989); se exponen y se discuten algunos diseños de experimentos históricos y el análisis de sus resultados, como, una versión simplificada de la propuesta que hizo Maxwell para deducir el movimiento de la Tierra en el espacio, el experimento de Michelson y Morley o el experimento de Bertozzi (Ireson, 1998); se incluye un buen número de actividades que demandan la emisión de hipótesis (al introducir conceptos, sobre hechos experimentales,..); otras que requieren realizar análisis cualitativos de situaciones físicas; algunas que demandan una discusión intelectual sobre conceptos, etc. También se incluyen cuestiones sobre aspectos de las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad (Solbes y Vilches, 1992; Acevedo, 1995; Cajas, 2001; Solbes, 2003) referidos a la relatividad.

Todo ello, sin perder nunca de vista que el objetivo es adecuar todo lo tratado al nivel de bachillerato y ofrecer una unidad ajustada en extensión al tiempo realmente disponible para tratar este tema en clase.

3. COMENTARIOS SOBRE LA PRESENTACIÓN POWER

La presentación power que incluye el CD trata los mismos apartados que la unidad didáctica y el libro. Por tanto, sirven para ella los comentarios expresados en el apartado anterior relativos al contenido y a la orientación metodológica adoptada. El elemento diferenciador que la distingue es su carácter más escueto y visual, que, pensamos, le puede dar una cierta capacidad divulgativa. No se pretende tanto, en este caso, desarrollar con detalle un tema completo, sino realizar de forma accesible y atractiva un breve recorrido por aspectos de la relatividad.

Quienes se embarcan en este recorrido pueden realizar acercamientos al tema en diversas etapas, con diferente grado de profundización. En una primera aproximación cabe leer las páginas de la presentación y completar esa lectura inicial pinchando alguno de los vínculos

que se van mostrando, hacia las animaciones, hacia alguna simulación y/o hacia algunos textos ligados. Después, quien lo desea puede profundizar en algunos aspectos. Por ejemplo, nos podemos detener a trabajar con algunas de las animaciones informáticas vinculadas: usar los cursores que sirven para alterar el valor de algunas magnitudes, modificar en algún caso las condiciones iniciales del problema (entrando en la ventana correspondiente), acceder al modelo físico-matemático que fundamenta la aplicación (entrando en la ventana “modelo”) e, incluso, modificarlo en algún caso, etc. También es posible ampliar información relativa a determinadas cuestiones, como, por ejemplo, la descripción que se hace en documentos ligados de algunos experimentos. Se puede leer también alguna de las muy breves biografías de los científicos que se van aludiendo en la presentación (simplemente pinchando sobre ellos). Y los interesados en los aspectos formales de la teoría también pueden acceder a documentos ligados que desarrollan estas cuestiones, como la definición de magnitudes relativistas o la deducción de leyes fundamentales, deducciones que se hacen de una forma sencilla, adaptada al nivel de segundo de bachillerato. Finalmente, quienes quieren seguir profundizando pueden consultar la bibliografía que se adjunta y también pueden ampliar lo tratado relejendo detalles del libro o adentrándose en alguna de las páginas web sugeridas.

Todo lo cual pretende favorecer un acercamiento amable a la relatividad.

4. COMENTARIOS SOBRE LAS ANIMACIONES

Como venimos diciendo, uno de los aspectos más recientes y destacados de este trabajo ha sido la incorporación de, por el momento, 28 animaciones informáticas (Alonso y Soler, 2005b), todas ellas elaboradas por nosotros usando el programa *modellus* (Duarte, 1996) En el ámbito docente, estas animaciones informáticas quieren ayudar al profesor a mostrar de forma más clara y atractiva algunas cuestiones. También procuran estimular a los estudiantes a incrementar su interés por la relatividad y a avanzar con mayor autonomía en determinados momentos. En un contexto más general, la presencia de las animaciones puede ayudar a incrementar el perfil divulgativo de los materiales dado que con ellas se muestra de forma visual y dinámica un conjunto amplio de conceptos y hechos relativistas. Por supuesto, su principal virtud es haber aumentado el carácter interactivo del material, al incitar a los usuarios a intervenir en los procesos que se enseñan.

Ésta es, en efecto, la cualidad de las animaciones que queremos señalar. La casi totalidad de

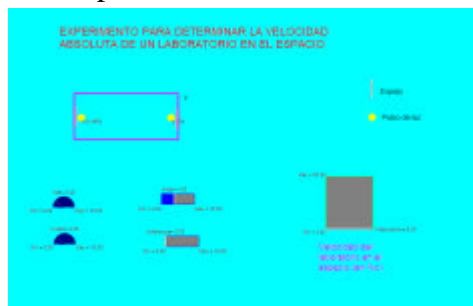
ellas incluye alguno o varios cursores que permiten a los usuarios alterar el valor de alguna o de varias magnitudes, otros les formulan algunas cuestiones y todos ellos dejan a la vista el modelo físico-matemático. Entrando en dicho modelo se puede afectar, si se desea, a las leyes relativistas que sustentan la animación y/o a las condiciones iniciales del problema, lo que, en definitiva, da al usuario una oportunidad de modificar la aplicación. Bien tutelada, esta cualidad de las animaciones es una fuente añadida de aprendizaje para los alumnos o, más en general, para cualquier persona deseosa de profundizar sobre lo tratado en la animación. También es muy útil esta cualidad para los docentes, no sólo porque pueden interaccionar con cada animación como luego lo harán sus alumnos; también porque, con poco esfuerzo, podrán, si lo desean, modificar la animación, adaptándola a sus necesidades. Con un poco de práctica también resulta sencillo crear otras animaciones complementarias de las disponibles en el CD o alternativas a algunas de ellas.

Vamos a comentar 7 de las 28 animaciones:

Principio de relatividad de Galileo: Hemos diseñado cuatro animaciones para estudiar el movimiento de una pelota lanzada en un vehículo que se puede desplazar sobre el suelo. Ésta incluye un cursor que permite aplicar al vehículo una aceleración (positiva, negativa) y comprobar cómo afecta a la trayectoria de la pelota en el sistema de referencia inercial (SRI) ligado al vagón. Con estas animaciones, se visualizan aspectos del principio de relatividad de Galileo. Por tanto, entrando en el modelo matemático quedan a la vista leyes de la física clásica.



Velocidad en el espacio absoluto: Si existiera el espacio absoluto, la luz tendría la velocidad c en un SR privilegiado, en reposo. Se podría deducir el movimiento de cualquier laboratorio en el espacio estudiando el movimiento de la luz en ese laboratorio. En la aplicación, un pulso de luz recorre un laboratorio móvil (el laboratorio podría ser, como propuso Maxwell, el sistema solar). Se puede modificar la velocidad del laboratorio y ver como afecta al tiempo que debería tardar la luz en recorrerlo. Si entramos en el modelo observaremos las expresiones que permiten obtener los tiempos de ida y vuelta de la luz, unas expresiones que enseñan la dependencia de estas magnitudes con la velocidad (absoluta) del laboratorio en el espacio.

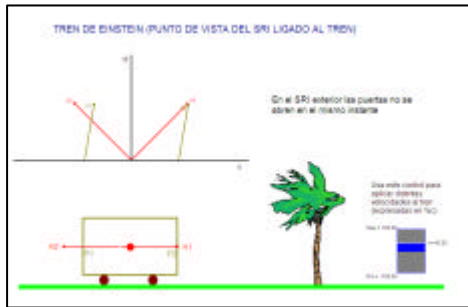


Cono de luz: Las leyes relativistas condicionan los diagramas espacio-tiempo, porque exigen un límite superior de velocidad, c . La animación representa el diagrama de un movimiento cualquiera y el de un haz de luz emitido en el punto origen de ese



movimiento. El cursor permite a alterar la velocidad de nuestro Einstein mientras corre la aplicación y enseña que la representación de su movimiento en el diagrama queda dentro del “cono de luz” que define la representación del movimiento de las puntas del haz luminoso.

Simultaneidad: Esta animación reproduce una variante del experimento mental del tren de Einstein. En el centro de un vagón se enciende una bombilla y cuando la luz alcanza cada pared del tren se abre ahí una puerta. Podemos comunicar al tren una velocidad (positiva, negativa, nula) y ver como se altera el orden temporal de apertura de las puertas del tren. La animación también dibuja un diagrama espacio-tiempo que resuelve gráficamente el problema. Entrando en el modelo comprobamos que la relatividad de la simultaneidad es una consecuencia inevitable de la igualdad de la velocidad c en todos los SRI.



Tiempo impropio y tiempo propio: Mientras una nave realiza un viaje de la Tierra a un planeta lejano, la animación dibuja en el diagrama espacio-tiempo el cuadrivector representativo del viaje (se enseña a dibujar dicho cuadrivector en otras animaciones anteriores) según el punto de vista de los observadores terrestres y según el punto de vista de los viajeros. Se constata así que cualquier tiempo impropio es mayor que el propio, algo que también visualizan sendos relojes. Pedimos a los estudiantes que usen la ley de dilatación de tiempos para obtener el valor de la velocidad de la nave.



Masa de un sistema de dos partículas en movimiento relativo: Mientras dos partículas de igual masa se separan, la animación va dibujando los correspondientes cuadrivectores impulso-energía (que se enseñan a realizar en animaciones anteriores) en el SRI respecto del cual se alejan y en sus correspondientes SRI propios. Se muestra así 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) Otra animación anterior enseñaba que cuando las partículas están en reposo relativo, la masa del sistema que forman sí coincide con la suma de las masas de las partículas.



Curvatura de la luz en el campo gravitatorio: Hemos diseñado cuatro animaciones sobre el principio de equivalencia y sus consecuencias. En ésta se muestra el hecho de que la luz “cae” en el campo gravitatorio. Un cursor permite modificar la intensidad del campo gravitatorio y ver cómo afecta a la curvatura del rayo de luz que emite la linterna de nuestro “Einstein”.

4. CONTENIDO DEL TALLER

Como se comprenderá, resultaría descabellada cualquier pretensión de mostrar en el tiempo disponible, ni siquiera los aspectos principales de nuestra propuesta. Sí creemos, en cambio, que puede ser bastante fructífera una sesión en la que los profesores participantes tengan ocasión de recrear algunos detalles concretos del funcionamiento en el aula de la unidad, al tiempo que prueban la potencialidad de alguno de los materiales (algunas actividades, alguna animación,..) Con esta intención, proporcionaremos a los asistentes algunos fragmentos del programa-guía y trabajaremos con detalle unas pocas actividades. Aprovecharemos las puestas en común para enseñar alguna animación y “jugar un poco con ellas”. Nuestro objetivo fundamental es, por tanto, que los asistentes puedan discutir paso a paso (tal como lo hacemos en el aula) unos pocos detalles representativos del conjunto y mostrar así de forma concreta la plausibilidad de la propuesta.

Desde luego, procuraremos que la sesión sea coherente con nuestra forma de trabajar en el aula, de tal modo que en el tiempo disponible los profesores se enfrentarán a las actividades seleccionadas bajo la tutela del conductor del taller. Éste aportará la información necesaria para sacar el mayor partido de las mismas, coordinará las puestas en común tras cada actividad, etc. Esperamos así hacer vivir “in situ” a los profesores algunos detalles de la propuesta y despertar en ellos ganas de conocer el tema con mayor profundidad. En definitiva, se pretende que, como producto de la sesión, los docentes puedan aprovechar mejor nuestro material en sus clases. Y, sobre todo, pasar un buen rato enganchados a la relatividad. Recordando la sesión de hace 3 años, no tenemos duda de que así será y para nosotros, realizar este taller será al mismo tiempo una ocasión privilegiada para intercambiar puntos de vista sobre el programa-guía con los asistentes, para debatir sobre sus virtualidades y sobre las posibles dificultades que puede entrañar su utilización en clase, etc.

Para terminar, nos gustaría hacer una alusión a la oportunidad de haber hecho coincidir este taller con el año mundial de la física (a punto de concluir) que festeja el centenario del llamado *annus mirabilis* de Albert Einstein. Como se sabe, aquél año Einstein publicó cuatro artículos fundamentales para el desarrollo de esta ciencia y en uno de ellos, *Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento*, planteó las bases de la relatividad. Transcurrido este tiempo nos 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 sorprendentemente hoy la relatividad tiene un peso insuficiente en los programas oficiales. La última reforma educativa estatal (el mal llamado decreto de humanidades del año 2000) 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 en otros temas de física moderna. En este momento cada Comunidad Autónoma es responsable de incluir en su currículo oficial un tema de relatividad o sólo algunos contenidos relativistas en otros temas.

Creemos que la Comunidad de Galicia, afortunadamente, está entre las que mantiene el tema de relatividad en el currículo oficial del bachillerato. Pero, en términos generales, esta situación precaria de la relatividad en la enseñanza preuniversitaria puede plantear problemas de importancia a la enseñanza de la física en todos los niveles. La situación se agrava por la dificultad que encuentra el profesorado en este tema. Bastantes profesores de bachillerato 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 de esta etapa 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 dirigidos a docentes y resulta complicado extraer de ellos un tema bien organizado y que se adapte al programa.

Nuestro trabajo quiere contribuir a paliar algo estas carencias. En lugar de suprimir la relatividad de los contenidos mínimos nos parece más adecuado 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 nos parece el mejor homenaje que podemos hacer a la Física en su centenario. Quisiéramos contribuir 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)

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>

ALONSO, M. y SOLER, V. (2004) Relatividad en el Bachillerato. *ENCIGA XVI CONGRESO*. 155-164.

ALONSO, M y SOLER, V. (2005a) Enseñanza y aprendizaje de la relatividad por investigación. Animaciones informáticas. *IV Jornadas de Didáctica de la Física* (Universidad Politécnica de Valencia) 268-277.

ALONSO, M y SOLER, V. (2005b) Materiales interactivos para la enseñanza de elementos de Relatividad: unida didáctica, *applets* y presentación power. *6 Ciencia en Acción (Actas y CD)*

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 las 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

GRAS-MARTI, A, CANO, M. (2000), Un entorn virtual per a l'ensenyament/ aprenentatge, *Eines*, 18, 61

- 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
- IRESON, G. (1998) Introducing relativistic mass: "the ultimate speed experiment" of William Bertozzi revisited. *Physic Education*. 33(3), 182-186.
- 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
- PERALES, F. J., SIERRA, J. L. y VILCHEZ, J. M. (2002) ¿Innovar, investigar? ¿Qué hacemos en didáctica de las ciencias? El caso de la imagen en la enseñanza de la física, *Alambique.*, 34, 77-81
- 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

inici 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), 55-66