

# Animaciones *Modellus* para las clases de física

Manuel Alonso Sánchez y Vicent Soler Selva

*En este artículo queremos mostrar lo sencillo que resulta crear animaciones *Modellus* para la enseñanza de la Física y lo valiosas que pueden ser estas aplicaciones. Se comentan ejemplos de animaciones incorporadas a dos trabajos recientes (sobre mecánica newtoniana y sobre Relatividad), que han sido reconocidos en los últimos certámenes de "Ciencia en Acción". Explicamos el proceso de creación de las aplicaciones y su potencialidad educativa. Finalmente proponemos actividades de formación docente para facilitar al profesorado el acceso a estos recursos.*

## 1. Introducción

La utilización de simuladores informáticos puede ser una herramienta que contribuya a mejorar aspectos importantes de la enseñanza de la Física en Secundaria y Bachillerato [1]. Entre los simuladores de fácil acceso, encontramos el programa *Modellus*, de libre distribución (<http://modellus.fct.unl.pt>), que ofrece al profesorado unas posibilidades muy interesantes y resulta muy sencillo de manejar porque no se requieren conocimientos específicos de Informática para crear sus aplicaciones. El docente tiene que aportar conocimientos de su materia para la construcción del modelo matemático de la simulación y aplicará sus ideas y necesidades educativas al diseño de la pantalla donde se muestra la animación. Los profesores pueden ser autores de una biblioteca de modelos propia o, partiendo de animaciones ya elaboradas, personalizar modelos existentes. Los alumnos también pueden ser entrenados, en poco tiempo, para modificar las animaciones con las que trabajan. *Modellus* incluye un manual que se puede consultar mientras se están creando las animaciones y es bastante sencillo familiarizarse con el programa de forma autodidacta.

Estas cualidades hacen al programa especialmente valioso para la enseñanza de la Física, porque otorga a los profesores una capacidad de elaborar animaciones interactivas sobre los conceptos y procedimientos que enseñan. Nosotros hemos preparado durante los últimos años animaciones para la enseñanza de Física sobre temas como mecánica newtoniana, relatividad, ondas... Nos ayudaron a enriquecer trabajos reconocidos en los últimos certámenes de "Ciencia en Acción", 2005 y 2006, concretamente, un conjunto de materiales para la enseñanza de la relatividad [2] y otro sobre mecánica newtoniana [3].

En este artículo queremos mostrar lo sencillo que resulta crear animaciones *Modellus* y lo valiosas que pueden ser estas aplicaciones en la enseñanza de la Física. Comentaremos el proceso de creación de las animaciones, mientras recordamos aspectos de los trabajos que acabamos de mencionar.

## 2. Animaciones para la enseñanza de la Mecánica Newtoniana

Vamos a explicar ahora la forma de proceder para crear las animaciones usando ejemplos sobre mecánica newtoniana.

Para empezar, sigamos paso a paso la creación de una animación sobre las magnitudes descriptoras de los movimientos: posición, velocidad y aceleración. Lo primero que hacemos es entrar en la ventana del modelo matemático (zona superior de la pantalla) y escribir las leyes, en este caso, las expresiones diferenciales de la velocidad y la aceleración. Tras introducir este modelo se abre automáticamente otra ventana para que indiquemos las condiciones iniciales del movimiento (los valores iniciales de posición y velocidad). Hecho esto, ya podemos diseñar la pantalla de la animación. Abrimos la ventana "nueva animación" y colocamos una partícula o la imagen de un vehículo. Ambas posibilidades (inserción de una partícula o de una imagen) se ofrecen en el margen izquierdo. Colocando encima del objeto insertado el ratón, se abre un cuadro de diálogo que nos permite asignar al móvil la magnitud posición. También podemos fijar una escala para representar el movimiento y, por ejemplo, plantear que el móvil deje huella estroboscópica.

Ya hemos creado la simulación y la convertimos en una animación interactiva incorporando a la pantalla algunos cursores (encontramos el icono en el margen izquierdo). Los cursores indican el valor de magnitudes y permiten su modificación cuando se está ejecutando el programa. En este caso, introducimos un cursor para modificar sobre la marcha la aceleración y medidores directos de la posición y la velocidad.

Para incrementar el valor educativo de la simulación añadimos gráficas de la evolución de las magnitudes y vectores representativos de la velocidad y la aceleración. En la parte superior de la pantalla encontramos ventanas para generar gráficas y tablas de valores. También podemos diseñar la animación para que dibuje directamente en la pantalla estas gráficas (opción que elegimos) pulsando un icono situado en el margen izquierdo. Ahí mismo, otro icono permite añadir vectores. Mediante cuadros de diálogo, sencillos e intuitivos, colocamos las gráficas, asignamos a cada vector su magnitud y ligamos los vectores al móvil.

Finalmente, incorporamos textos con el título de la animación, indicaciones a sus usuarios, el etiquetado de los ejes de las gráficas y los propios ejes (mediante un icono que permite incorporar figuras geométricas; en este caso, segmentos que hacen de ejes).

Este trabajo puede llevar aproximadamente treinta minutos y obtenemos una animación interactiva muy comple-

ta, adecuada para que nuestros alumnos trabajen con las magnitudes fundamentales de cinemática. Los estudiantes pueden prever la evolución de movimientos de diferentes tipos (según los valores iniciales de las magnitudes) y sus gráficas. La animación (figura 1) dice si sus predicciones fueron acertadas. También pueden escribir las ecuaciones del movimiento representado y calcular el valor de su posición o su velocidad en un instante determinado, pueden dibujar los vectores velocidad o aceleración, etc.

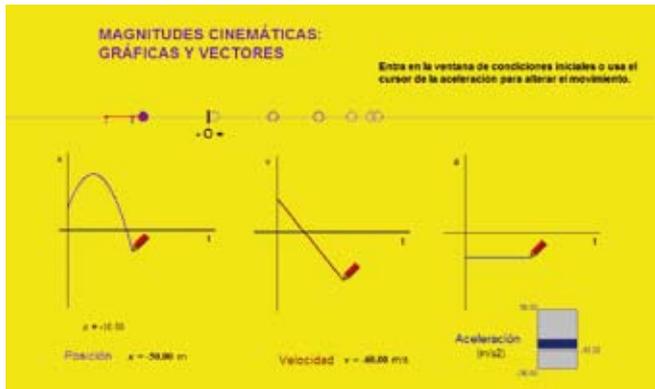


Figura 1. Animación sobre magnitudes cinemáticas.

Además de mediante cursores, podemos interactuar con la simulación colocando el ratón encima del objeto (partícula, imagen, vector...). Aparece entonces una mano para tirar de él. Esta propiedad aporta posibilidades educativas muy interesantes. Podemos plantear un modelo matemático tan sencillo como escribir una variable  $x$  que representará la posición de un móvil. Colocaremos después en la pantalla el móvil y le asignaremos esta variable. Desde ese momento la animación es un laboratorio virtual. Podemos desplazar al objeto y la simulación nos enseñará su posición, gráficas del movimiento...

Usando este recurso construimos la animación adjunta (figura 2), que calcula y permite modificar la posición de un vehículo que circula por una trayectoria previamente conocida (la carretera), la de un alumno que se mueve sobre un plano (el suelo) y la de un planeta con órbita circular alrededor del Sol.



Figura 2. Animación sobre formas de dar la posición.

Otro recurso muy útil es la posibilidad de incorporar medidores. Además de los cursores-medidores de magnitudes a los que ya nos hemos referido, se pueden introducir instrumentos

específicos para obtener longitudes, ángulos, pendientes... Estos instrumentos están en la parte superior de la pantalla.

Es mucho el rendimiento educativo que podemos obtener de estos medidores. A modo de ejemplo, la animación adjunta representa un movimiento y va dibujando la gráfica de la posición. Hemos incorporado un medidor de la pendiente a la curva  $x = f(t)$ . Practicando con él, los estudiantes comprueban que, en cada punto, la pendiente de la tangente coincide con la velocidad instantánea, que también calcula la simulación. Modificando el modelo físico-matemático y/o las condiciones iniciales del movimiento, refuerzan estos conceptos para diferentes movimientos.



Figura 3. Animación con un medidor de pendiente para la gráfica de la posición.

El hecho de que entrando en la ventana del modelo se puedan modificar las ecuaciones es una de las mejores virtudes del programa, porque nos permite animar a los alumnos a realizar análisis cualitativos, probar hipótesis acerca de las magnitudes que pueden influir en un proceso, explorar diferentes maneras de formalizar sus hipótesis, etc. Resulta particularmente útil esta propiedad cuando se realizan problemas abiertos de Física. Los estudiantes usan una animación para hacer tentativas o, después de haber resuelto el problema, para comprobar si el resultado es acorde con sus predicciones.

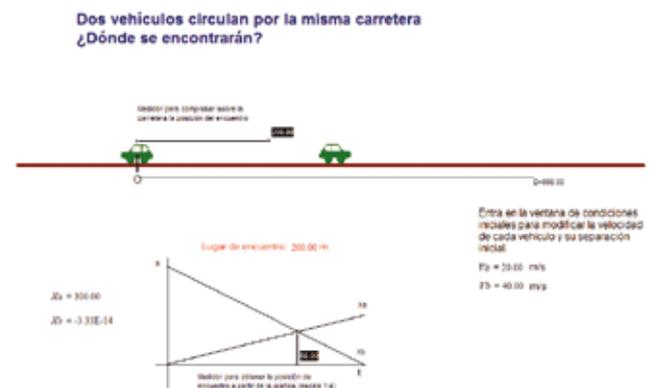


Figura 4. Animación sobre el problema del cruce de dos vehículos.

Consideremos el problema del cruce de dos vehículos que circulan por una carretera. Una solución sencilla (nivel de 4º ESO) se obtiene cuando los vehículos tienen movi-

miento uniforme. Usamos dos estrategias para obtener la solución: mediante las ecuaciones de los movimientos y mediante su representación gráfica. La animación (figura 4) enseña ambas. Dibuja las gráficas e incorpora un medidor de distancia para dar la posición del encuentro. Antes de poner en marcha la aplicación, podemos modificar la separación inicial entre los vehículos y sus velocidades.

Con otras animaciones mejoró el desarrollo de más problemas abiertos de cinemática y de dinámica: longitud mínima de la pista de un aeropuerto, factores que determinan el alcance de un lanzamiento horizontal u oblicuo, desviación de un péndulo que cuelga del techo de un vehículo, desplazamiento de un bloque de madera después de que se le incruste una bala, choque elástico de dos pelotas (figura 5)...

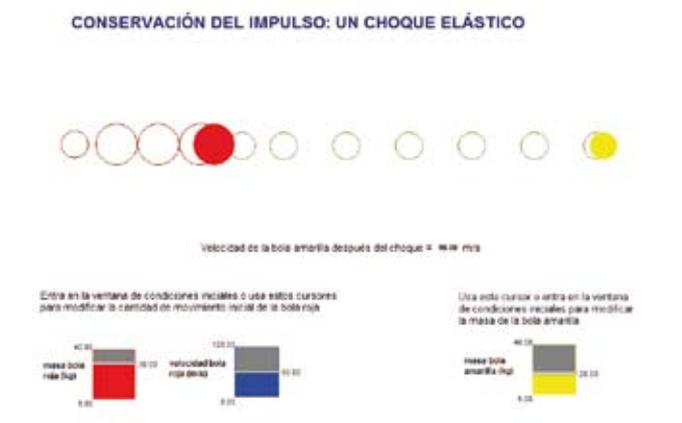


Figura 5. Animación que resuelve el problema de un choque elástico de dos pelotas.

Para mejorar el aspecto visual de las animaciones *Modellus* se pueden introducir fondos de pantalla. En la parte superior de ésta (modo cascada) encontramos el icono. Podemos introducir uno de los fondos del programa (cuadrícula, fondo de estrellas, paleta de colores) o insertar otra imagen (figura 6). Estos detalles contribuyen sin duda a hacer más atractivas las animaciones.

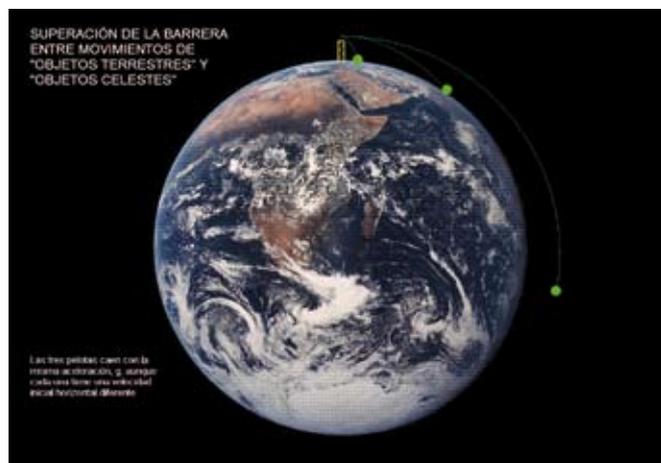


Figura 6. Animación que usa una imagen de la Tierra sobre un fondo de estrellas.

*Modellus* también permite la inserción de clips de vídeo (mismo cuadro de diálogo que inserta fondos de pantalla). Cuando se vuelca un clip de vídeo a una animación, en la pantalla se muestra la filmación duplicada. Una de las imágenes no se puede alterar y encima de la segunda se pueden colocar partículas, medidores, etc. Estas posibilidades ayudan a enriquecer trabajos de laboratorio. Con una cámara digital, los estudiantes graban en el aula los movimientos cuando realizan el trabajo práctico. Con el programa *VirtualDub*, de distribución gratuita (<http://www.virtualdub.org/>), recortan la grabación, dejando el pedazo que se quiere usar. Finalmente, trasladan el clip a una animación *Modellus* diseñada para ese mismo proceso.

Así, por ejemplo, en un trabajo sobre el tiro horizontal pusimos a prueba la hipótesis de Galileo de descomposición del movimiento: el movimiento real se debería poder obtener combinando un movimiento de avance horizontal uniforme y un movimiento de caída uniformemente acelerado. En la pantalla colocamos tres partículas, una realiza el movimiento horizontal,  $x$ , otra describe la caída,  $y$ , y la tercera traza la trayectoria  $(x, y)$ , concordante con la de la filmación (figura 7).

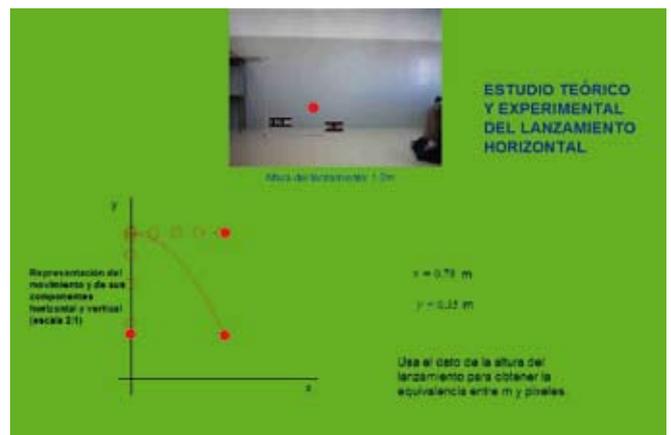


Figura 7. Animación para contrastar la hipótesis de Galileo en el trabajo práctico sobre el tiro horizontal.



Figura 8. Animación para el trabajo práctico sobre el MAS. La imagen que simula un muelle oscila con la misma frecuencia que el muelle real.

Los objetos que colocamos en la pantalla de una animación se pueden deformar ligando las ecuaciones del modelo a las dimensiones del objeto. Se puede hacer crecer o menguar una figura y estirar o contraer cada dimensión de ella. Al estudiar el movimiento de oscilación de un muelle, insertamos la filmación del movimiento real, y colocamos en la pantalla un muelle realizando un movimiento armónico simple (MAS). Para escribir en la ventana del modelo las ecuaciones del MAS se usaron los resultados experimentales (figura 8).

Vemos así que el uso de las animaciones *Modellus* no reduce el fomento de aspectos importantes de la metodología científica. Un buen uso de la informática en el laboratorio puede contribuir a impulsar, antes que entorpecer, el manejo de aspectos de la metodología científica. Con aplicaciones adecuadas disminuye la tediosa tarea de recoger y representar las mediciones y podemos poner el acento en aspectos como la emisión de hipótesis, la invención del diseño experimental o el análisis de resultados [4,5]. La combinación de vídeos y animaciones aporta además la comparación directa de la previsión científica que procede de las leyes de la Física (expresadas en el modelo de la animación) con el proceso real (recogido en el vídeo).

Otra virtud aprovechable del programa es el hecho de que proporcione la solución numérica del problema cuando se le han introducido unas ecuaciones. No siempre es necesario que los estudiantes sepan resolver esas ecuaciones y podemos dirigir su atención hacia el planteamiento del problema y la adopción de condiciones. Así, se amplía el abanico de situaciones abordables sin incremento de la dificultad.

Por ejemplo, estudiamos en Bachillerato el movimiento de caída considerando la resistencia de la atmósfera. No resultó difícil concebir la hipótesis de una fuerza de rozamiento dependiente de la velocidad de penetración del objeto y una velocidad terminal (la velocidad aumenta hasta alcanzar un valor, a partir del cual la caída es uniforme). Escribimos en el modelo un coeficiente dependiente del peso del objeto y de esa velocidad terminal. Y mejoramos la animación introduciendo un paracaídas (en el momento de abrirse planteamos al modelo una modificación brusca de la velocidad terminal). Para conseguir que el paracaídas aparezca en la pantalla en un momento determinado, le asignamos inicialmente una posición fuera del monitor, donde permanecerá el tiempo deseado (figura 9).

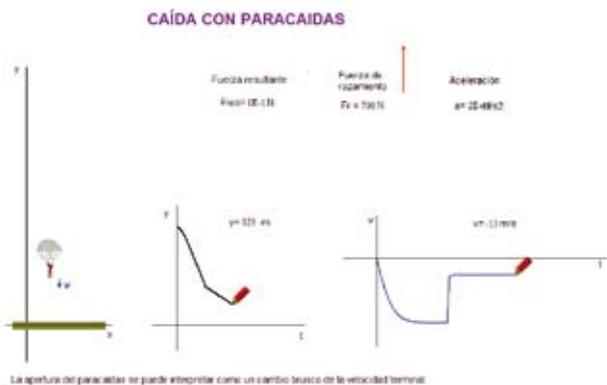


Figura 9. Animación sobre la caída en la atmósfera considerando el rozamiento y un paracaídas.

Con este ejemplo termina nuestro recorrido por animaciones del trabajo sobre mecánica newtoniana. Por el momento se puede disponer de cincuenta y cinco animaciones.

### 3. Animaciones para la enseñanza de la relatividad

El pequeño esfuerzo realizado para familiarizarnos con el programa *Modellus* fue motivado en su día para crear un conjunto de materiales para la enseñanza de la Relatividad en Bachillerato. Disponíamos de un programa de actividades de clase, un libro para profesores [6] y un curso de formación docente impartido a no menos de trescientos docentes de Física y Química. Entonces nos propusimos dar un impulso adicional al trabajo, incrementando su carácter interactivo. Los recursos informáticos disponibles en la red, a pesar de ser muchos, no siempre se ajustan a las necesidades didácticas requeridas en un momento determinado.

Hacemos estos comentarios para destacar que el programa *Modellus* permite elaborar animaciones sencillas, interactivas y “a la carta”, es decir, adaptadas a la metodología del docente. Nuestra propuesta para la enseñanza de la Relatividad hace un uso preferente de diagramas de Minkowski tiempo-posición en cinemática y de diagramas impulso-energía en dinámica. El programa permite construir animaciones interactivas con estos diagramas.

La animación adjunta, por ejemplo, enseña cómo las leyes relativistas condicionan los diagramas espacio-tiempo. Se representa el diagrama de un movimiento cualquiera y el de un haz de luz emitido en el punto origen de ese movimiento. Un cursor permite alterar la velocidad del viajero mientras corre la aplicación. Se constata así que la representación de su movimiento queda necesariamente dentro del *cono de luz* que define la representación del avance de las puntas del haz luminoso. Entrando en el modelo comprobamos que todo esto es consecuencia de la existencia de un límite superior de velocidades,  $c$ .

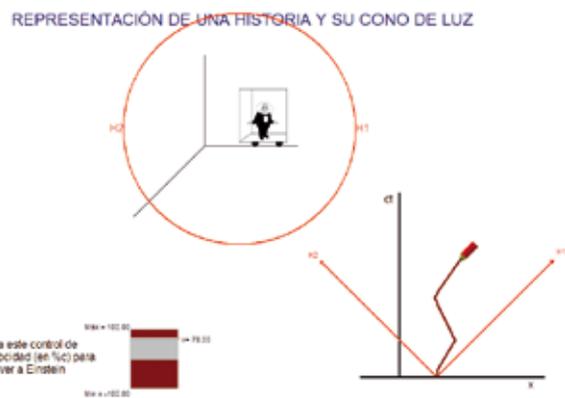


Figura 10. Animación para iniciar los diagramas espacio-tiempo relativistas.

Así resulta más sencillo el acceso a conceptos importantes de cinemática relativista. Veamos una versión ligeramente modificada del experimento mental con el que Einstein ilustró la relatividad de la simultaneidad (figura 11): Desde el centro de un vehículo se emiten en sentidos opuestos dos rayos de luz. Cuando alcanzan los extremos se abre la puerta respectiva. Incluimos un cursor para comunicar al tren una

velocidad (positiva, negativa o nula) y ver cómo se altera el orden temporal de apertura de las puertas. En la pantalla se dibuja el diagrama espacio-tiempo que resuelve el problema y, entrando en el modelo, vemos que la relatividad de la simultaneidad es consecuencia de la igualdad de la velocidad  $c$  en todos los sistemas de referencia inerciales (SRI).

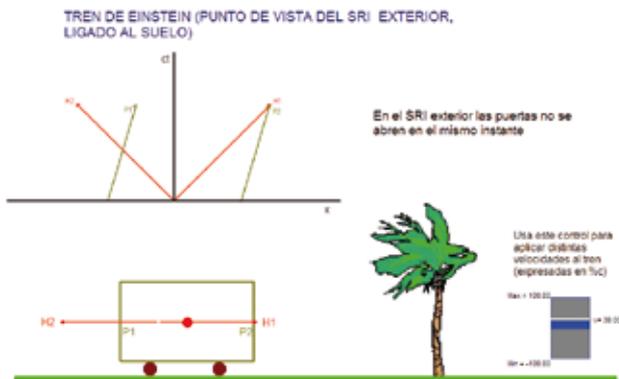


Figura 11. Animación para mostrar la relatividad de la simultaneidad.

Otro concepto muy importante (totalmente ausente de los libros de texto habituales de Bachillerato) es el del cuadrivector espacio-tiempo. Con los diagramas es bastante sencillo que los estudiantes representen cuadrivectores y extraigan algunas consecuencias importantes, como el concepto de un tiempo relativo. Mientras una nave realiza un viaje desde la Tierra hacia un planeta lejano, se dibuja el cuadrivector del viaje según el punto de vista de los observadores terrestres y del viajero. Manipulando la animación (figura 12) comprobamos que cualquier tiempo impropio es mayor que el propio (algo que también visualizan dos relojes) y que la diferencia entre ambos es mayor cuanto mayor sea la velocidad relativa entre los SRI.



Figura 12. Animación que muestra la relatividad del tiempo en un viaje interestelar.

Algunos conceptos importantes de dinámica relativista también resultan más accesibles con diagramas, en este caso, impulso-energía. Podemos, por ejemplo, representar el comportamiento dinámico de un sistema de dos partículas de igual masa en movimiento relativo (figura 13). Mientras las partículas se separan, se dibujan los cuadrivectores impulso-energía en el SRI respecto del cual se alejan y en los SRI

propios de cada una de ellas. Se comprueba 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).

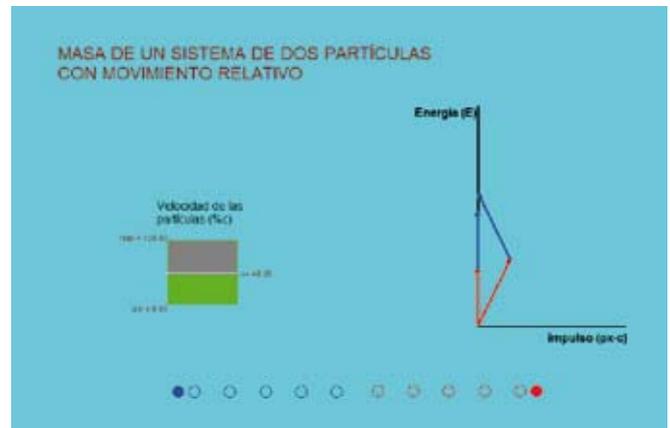


Figura 13. Animación que muestra la diferencia entre la masa de un sistema y las sumas de las masas de sus constituyentes.

La enseñanza de otros conceptos importantes del tema de Relatividad de Bachillerato, como el principio de relatividad de Galileo, la causalidad en Relatividad, el experimento de Michelson y Morley, el principio de equivalencia, etc., también mejoró con ayuda de animaciones *Modellus*. El material incluye ahora treinta y dos animaciones.

#### 4. Disponibilidad de los trabajos y propuesta de formación

Se puede solicitar a los autores un CD con los trabajos completos sobre mecánica newtoniana y relatividad. Una versión representativa, pero no completa del material, se puede ver y descargar en la página del Departamento de Física y Química del IES "Leonardo da Vinci" de Alicante: <http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/fisica.htm>. De esta dirección también se pueden descargar animaciones para otros temas de Física.

Ahora bien, una característica muy importante de estos materiales es su carácter abierto, en permanente (re)elaboración, así como nuestra pretensión de contribuir a una actividad investigadora de los docentes. Consideramos que las animaciones deberían ser creadas o modificadas por los profesores a medida que va surgiendo en clase la necesidad educativa. El hecho de que sean los propios docentes quienes elaboren la aplicación dará al material un valor adicional porque facilita la integración coherente de las simulaciones en el modelo de enseñanza.

En este trabajo hemos querido mostrar que es bastante sencillo adquirir en poco tiempo una destreza suficiente. Por ello, también planteamos la posibilidad de impartir actividades de formación docente cuyo objetivo será familiarizar a los profesores de Física y de Química con estas aplicaciones y darles capacidad para elaborarlas. El resultado muy positivo obtenido en sesiones ya impartidas en algunos Centros de Profesores nos indica que éste puede ser un buen camino para promover la apropiación de esta herramienta por el profesorado.

## Referencias Bibliográficas

- [1] SIERRA, J.L., PERALES, F., SÁNCHEZ, A., Y MARTÍNEZ, S., 2007, Aprendiendo física en bachillerato con simuladores informáticos. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 51, 89-97.
- [2] ALONSO, M., 2006, *Mecánica newtoniana. Materiales para su enseñanza por investigación*. Mención honorífica en la modalidad de materiales didácticos de Ciencia del VII Concurso Nacional de Ciencia en Acción (<http://www.fecyt.es/cienciaenaccion/>)
- [3] ALONSO, M. Y SOLER, V., 2005, *Materiales interactivos para la enseñanza de elementos de Relatividad: unidad didáctica, applets y presentación power*. ISBN 84-609-6708-5 Primer premio en el apartado de materiales didácticos del VI Concurso Nacional de Ciencia en Acción (<http://www.fecyt.es/cienciaenaccion/>)
- [4] CORTEL, A., 1999, Utilización de la informática en el laboratorio. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 19, 77-87.
- [5] GARCÍA BARNETO, A. Y GIL MARTÍN, M. R., 2006, Entornos de aprendizaje basados en simulaciones informáticas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 5, 2, Artículo 5 en <http://www.saum.uvigo.es/reec>.
- [6] ALONSO, M. Y SOLER, V., 2002, *Construyendo la relatividad*, Editorial Sirius, Madrid. Versión en catalán, 2006, *Construïm la relativitat*, Universitat d'Alacant, Col·lecció Joan Fuster, Alacant.

**Manuel Alonso Sánchez**  
 IES Leonardo da Vinci, Alicante  
[manuelalonso@inicia.es](mailto:manuelalonso@inicia.es)

**Vicent Soler Selva**  
 IES Sixto Marco, Elx  
[vicentselva@telefonica.net](mailto:vicentselva@telefonica.net)



A veces lo +  
pequeño  
es lo +  
grande




Sistemas Informáticos Europeos

El Sie Hydra 2QP es una máquina de cálculo matemático o un nodo de cluster basado en los nuevos procesadores AMD Opteron™ de **cuádruple core**.

Las prestaciones de estos nuevos procesadores son sobresalientes ya que disponen de 512Kb de caché L2 dedicada por núcleo y 2 MB de caché L3 compartida de altas prestaciones.

Sistemas Informáticos Europeos integra una solución de alta densidad incorporando 8 vías y hasta 64 GB de RAM en rack de 1U. El alto rendimiento hace de estas máquinas de **64 bits** idóneas para los entornos de alta disponibilidad donde se necesita un servicio de 24 horas al día sin caída de rendimiento.

SIE crea soluciones de cluster computacional o cálculo científico en entornos de investigación con comunicaciones Gigabit o Myrinet (baja latencia en 2 Gb/s).

La fiabilidad de estas máquinas esta garantizada por 3 años de garantía total así como los 17 años de know how que respaldan a Sistemas Informáticos Europeos.



Sie desde hace 8 años colabora estrechamente con el Instituto de Química Física Rocasolano a través de un acuerdo de I+D. Así mismo patrocina diversos eventos como el 75 aniversario del edificio Rockefeller, la XXXI reunión Bienal de física, etc...

Sie Hydra 2QP con procesador AMD Opteron™ cuádruple core 2350 2,0 Ghz y 16 Gb de RAM.  
 Disco Duro 250 GB. Configuración completa lista para su uso, preconfigurada con Linux.

SOLO 3.995 € + IVA



**SISTEMAS INFORMÁTICOS EUROPEOS**  
 C/Marqués de Mondéjar 29-31  
 28028 Madrid, España  
 Telf: (+34) 91 361 08 66 - (+34) 91 361 10 02  
 Fax: (+34) 91 361 10 87 [comercial@sie.es](mailto:comercial@sie.es)

[www.sie.es](http://www.sie.es) [www.clustersie.com](http://www.clustersie.com)





AMD, el logotipo de AMD, ATI Radeon y todas sus posibles combinaciones, son marcas comerciales de Advanced Micro Devices, Inc. Tux, logotipo de Linux diseñado por Larry E. Rost y SIE HIDRA son marcas comerciales de Sistemas Informáticos Europeos S.L. Microsoft es marca comercial registrada de Microsoft Corporation en los Estados Unidos y/o en otros países. El resto de nombres solamente sirven de referencia y pueden ser marcas comerciales de sus compañías respectivas.