

# TALLER SOBRE ANIMACIONES *MODELLUS* DE FÍSICA

Manuel Alonso Sánchez

IES Leonardo da Vinci, Alicante  
manuelalonso@inicia.es

## 1. PRESENTACIÓN. OBJETIVOS DEL TALLER.

*Modellus* (<http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/>) es un simulador informático de libre distribución que ofrece al profesorado de ciencias unas posibilidades muy interesantes. Es muy sencillo de manejar porque no se requieren conocimientos específicos de informática para crear sus aplicaciones, sino que el docente tiene que aportar únicamente conocimientos de su materia para la construcción del modelo matemático de la simulación y aplicar sus ideas y necesidades educativas al diseño de la pantalla donde se muestra la animación. El programa nos parece especialmente valioso para la enseñanza de la física.

Aprovechando este recurso gratuito, hemos producido durante los últimos años un conjunto amplio de animaciones para la enseñanza de física en ESO y en Bachillerato, abarcando temas de mecánica newtoniana, relatividad, ondas... Estas animaciones nos ayudaron a enriquecer trabajos premiados en los certámenes de “Ciencia en Acción”, 2005 y 2006, concretamente, un conjunto de materiales interactivos para la enseñanza de la relatividad [1], y otro, más reciente, sobre mecánica newtoniana [2]. En el XVIII Congreso de Enciga tuvimos el placer de presentar bastantes aspectos del trabajo sobre relatividad [3].

Una característica muy importante de estos trabajos, y, particularmente, de las animaciones, 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 puedan elaborar la aplicación (o modificar una preexistente), aporta al recurso un valor adicional porque facilita una integración coherente de las simulaciones en el modelo de enseñanza. Por eso, desde hace algún tiempo, estamos involucrados en actividades de formación del profesorado de física y química, mediante las cuales facilitamos a los profesores una mejor explotación de los materiales y también una capacidad de generar sus propias animaciones.

El taller que presentaremos en el XX Congreso tiene dos objetivos principales: mostrar la potencialidad didáctica de las animaciones y hacer observar a los profesores su sencillez y accesibilidad. Con estos propósitos, la primera parte del taller se dedicará a mostrar una parte representativa de las animaciones, que tratará de abarcará diversas aplicaciones: conceptos de física, conceptos de matemáticas relacionados, trabajos experimentales, problemas abiertos,.. Procuraremos explotar al máximo las animaciones mostradas, involucrando a profesores asistentes en su manipulación y promoviendo una reflexión acerca de sus posibilidades. En la segunda parte de la sesión, enseñaremos el proceso de generación de una animación, con objeto de mostrar lo accesible que puede resultar este recurso a los profesores.

## 2. POTENCIALIDAD DE LAS ANIMACIONES. ALGUNOS EJEMPLOS.

Vamos a realizar comentarios sobre unas pocas animaciones con objeto de señalar algunas de sus posibilidades.

Comentamos, para empezar, dos animaciones que diseñamos para ayudar a los estudiantes a reforzar conceptos de mecánica:

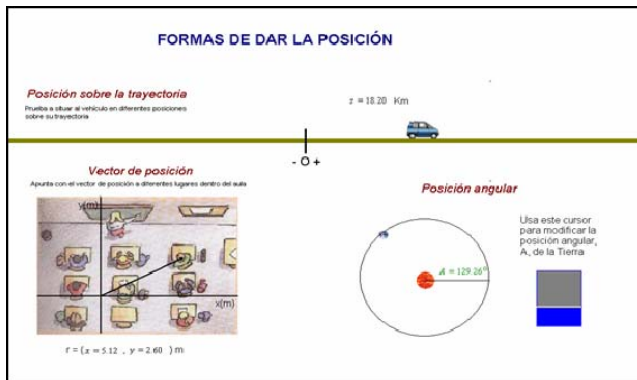


Figura 1: Animación sobre formas de dar la posición.

**Formas de dar la posición:** La animación permite modificar la posición de un vehículo que tiene una trayectoria previamente conocida (la carretera), la de un alumno que se puede mover en un plano (el suelo de la clase) y la de un planeta que describe una órbita circular alrededor del Sol. En la pantalla se obtiene la posición del vehículo en la carretera, el vector de posición del alumno en clase y la posición angular del planeta respecto del Sol (Figura 1)

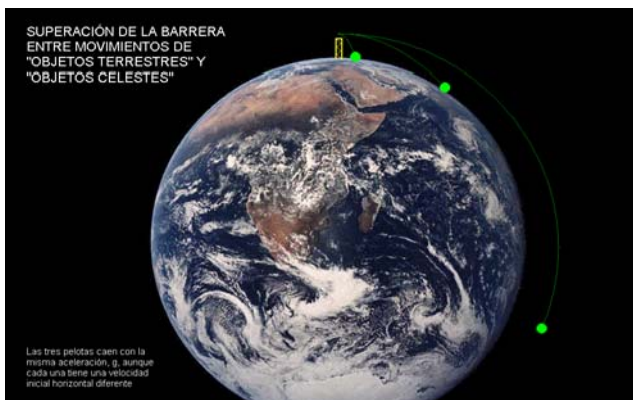


Figura 2: Superación de la barrera entre movimientos de *objetos terrestres* y *objetos celestes*.

**Superación de la barrera entre movimientos de *objetos terrestres* y *objetos celestes*:** Se reproduce el experimento mental de Newton con el que visualizó la universalidad de sus leyes. Desde lo alto de una torre se lanzan horizontalmente tres objetos aplicándoles velocidades iniciales diferentes. Atraídos por la Tierra los tres cuerpos “caen lo mismo”, pero mientras dos de ellos tropiezan con el suelo terrestre, el tercero se mantiene en órbita: la relación entre su avance “horizontal” y su caída “vertical” es, en este caso, la misma que hay entre el avance y la caída del suelo terrestre. Por

tanto, su movimiento es circular y uniforme (Figura 2).

Queremos destacar ahora dos cualidades importantes de todas las animaciones: su sencillez de diseño y su alto grado de interactividad. En todas las simulaciones el usuario puede acceder a una ventana para modificar condiciones iniciales del problema y también es posible alterar el valor de algunas magnitudes en el mismo momento en que corre la aplicación, comprobando cómo afectan estas alteraciones al hecho físico. Así ocurre, en las animaciones que comentamos a continuación, respectivamente destinadas a reforzar el manejo de las magnitudes cinemáticas y a resolver una situación que requiere aplicar la ley de conservación del impulso:

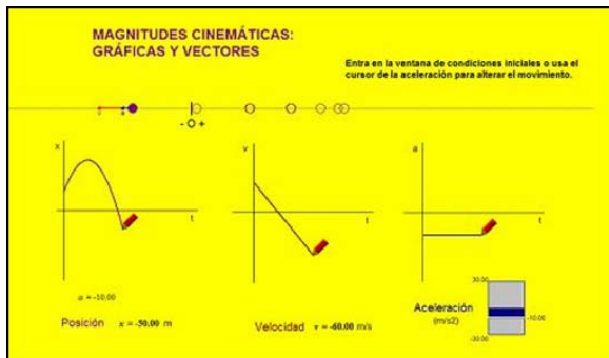


Figura 3: Animación sobre magnitudes cinemáticas. modificar sobre la marcha la aceleración (Figura 3)

**Magnitudes cinemáticas, gráficas del movimiento y vectores:** Se representa cualitativamente el movimiento de un objeto, los vectores representativos de la velocidad y la aceleración, y, también, las gráficas de la posición, la velocidad y la aceleración. Entrando en la ventana de las condiciones iniciales, los estudiantes pueden generar diferentes tipos de movimiento, según los valores que introduzcan para la aceleración, la velocidad inicial y/o la posición inicial del móvil. En la pantalla hemos colocado un cursor que permite

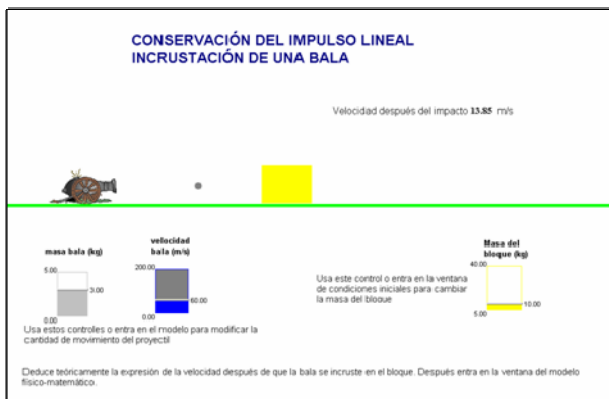


Figura 4: Conservación del impulso lineal

**Conservación del impulso lineal. Incrustación de una bala.** Una bala de cañón se incrusta en un bloque de madera. La animación representa todo el proceso y proporciona la velocidad del conjunto después del impacto. El usuario puede modificar la velocidad y la masa de la bala, así como la masa del bloque de madera (Figura 4)

Otra propiedad a destacar de las animaciones *Modellus*, es el hecho de que permiten el acceso al modelo físico-matemático. Entrando en la ventana correspondiente, el usuario, puede alterar las leyes físicas que sustentan la animación, convirtiéndose así en potencial coautor de la misma. En clase aprovechamos esta propiedad para animar a los estudiantes a realizar análisis cualitativos, probando hipótesis acerca de las magnitudes que pueden influir en un proceso, explorando maneras diferentes de formalizar las hipótesis,.. Por supuesto, también es muy útil esta cualidad para los docentes, que pueden interactuar con cada animación como luego lo harán sus alumnos y, con poco esfuerzo, también pueden modificar la animación, adaptándola a sus necesidades. Por este conjunto de propiedades, algunas animaciones son particularmente útiles cuando se realizan en clase problemas abiertos. Los estudiantes pueden usar una simulación para hacer tentativas o, después de haber resuelto el problema, pueden analizar si el resultado obtenido predice el comportamiento que plantea el enunciado. Veamos ahora dos ejemplos de problemas tratados así:

**Cruce de dos vehículos que circulan por una misma carretera.** Problema clásico del tema

de cinemática. Una de las soluciones más sencillas (4º ESO) se obtiene suponiendo que los vehículos tienen movimientos uniformes y de sentidos opuestos. En clase, después de emitir hipótesis, se utilizan dos estrategias para resolver el problema: utilizar las ecuaciones y/o usar una representación gráfica de los movimientos. La simulación aporta las dos soluciones. Dibuja las gráficas e incorpora un medidor de distancia que permite obtener la posición en el lugar del encuentro. El usuario puede modificar la separación inicial entre los vehículos y sus velocidades. Y, entrando al modelo físico-matemático, puede replantear el tipo de movimiento de los vehículos.

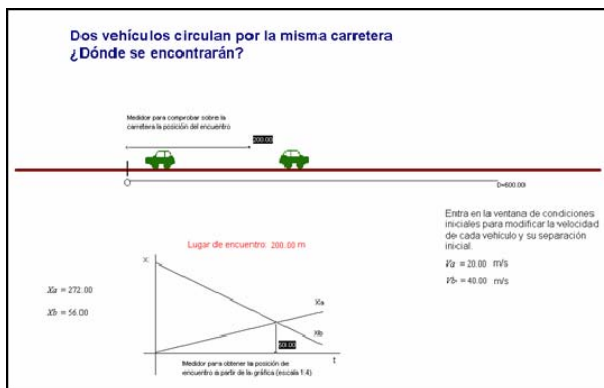


Figura 5: Animación sobre el problema del cruce de dos vehículos.

matemático, puede replantear el tipo de movimiento de los vehículos.

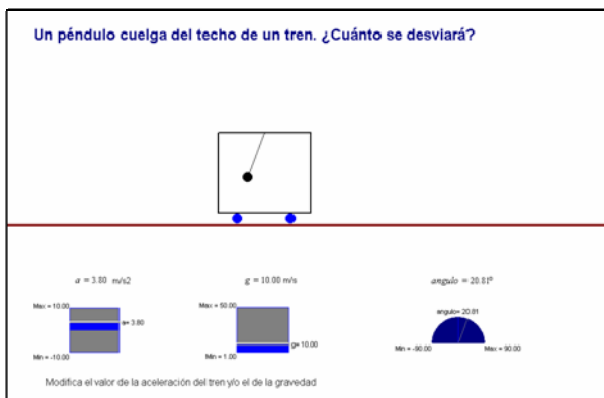


Figura 6: Desviación de un péndulo que cuelga del techo de un tren

**Desviación de un péndulo que cuelga del techo de un vagón.** Este problema resulta muy instructivo en el tema de dinámica, donde conviene prestar una atención particular a la diferenciación entre los conceptos de masa inercial y masa gravitatoria. La resolución como investigación de este problema contribuye a afianzar estos conceptos, al considerar la influencia de ambas masas y su compensación en este caso. El usuario puede modificar la aceleración del tren y la gravedad y ver cómo afectan los cambios a la desviación del péndulo.

Es sencillo y muy útil, establecer conexión entre las animaciones y experimentos escolares de física. Para ello, hemos incorporado el uso de filmaciones a los trabajos prácticos de laboratorio, realizados como pequeñas investigaciones. Con una cámara digital sencilla se graba en el laboratorio el movimiento cuando se realiza el experimento. Después de recortar la grabación, dejando el pedazo que se quiere analizar, trasladamos el clip a una animación *Modellus* diseñada para ilustrar ese mismo proceso.

Este aprovechamiento de simulaciones en los trabajos experimentales no mengua, sino todo lo contrario, el fomento en clase de aspectos de la metodología científica. Al usar de forma adecuada este tipo de recursos puede disminuir algo la tarea de recoger y representar mediciones, y esto permite poner mayor énfasis en aspectos como la emisión de hipótesis, la invención del diseño experimental,.. [4], [5], [6]. Además, la combinación que venimos haciendo de videos y animaciones *Modellus* aporta una propiedad adicional a los trabajos prácticos: facilita una comparación directa entre la previsión científica que procede de las leyes de la física y el proceso real filmado. Veamos dos ejemplos:

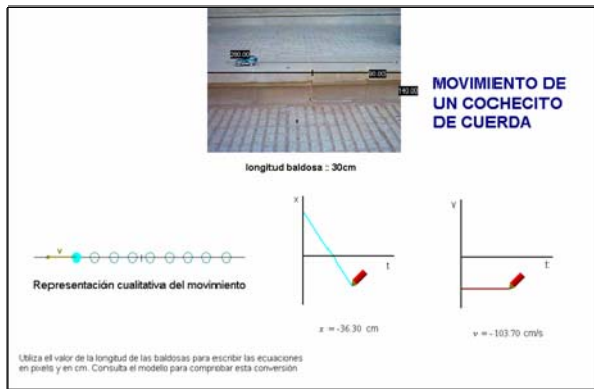


Figura 7: Estudio experimental del movimiento de un cochecito de cuerda

### Movimiento de un cochecito de cuerda.

El movimiento del cochecito también se estudió en el laboratorio usando sensores de posición y se comprobó que, mientras se desenrolla la cuerda, dicho movimiento es prácticamente uniforme. Para estudiarlo experimentalmente con la ayuda de *Modellus* se grabó el movimiento en el patio del Instituto y los estudiantes introdujeron como modelo de la animación la ecuación de un movimiento uniforme. La animación muestra simultáneamente el clip de video y a una partícula que realiza un movimiento uniforme. Además, representa las gráficas de la posición y de la velocidad

de dicho movimiento. Utilizando una herramienta de medida que proporciona el programa obtenemos la equivalencia entre pixels en la pantalla y m en el movimiento filmado (se toma como referencia el valor conocido de la longitud de las baldosas) (Figura 7)

**Estudio teórico y experimental del lanzamiento horizontal.** En este trabajo práctico pusimos a prueba la hipótesis de Galileo de descomposición del movimiento: el movimiento

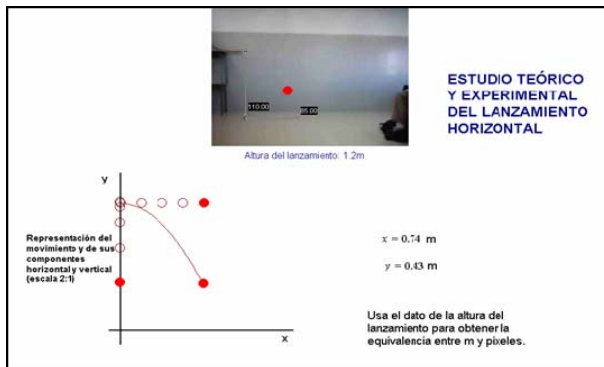


Figura 8: Animación para contrastar la hipótesis de Galileo en el trabajo práctico sobre el tiro horizontal.

real se podrá obtener combinando un movimiento de avance horizontal uniforme y un movimiento de caída uniformemente acelerado. Los estudiantes crearon el modelo físico-matemático de la animación escribiendo las leyes del movimiento de avance horizontal,  $x$ , y las de la caída vertical,  $y$ . En la animación colocamos tres partículas, una realiza el movimiento horizontal,  $x$ , otra describe la caída, y la tercera sigue las posiciones  $(x, y)$ . Así se puede comprobar la validez de la hipótesis de Galileo, en la medida en que se obtiene una correspondencia entre el movimiento

real (filmado) y el movimiento parabólico de la pelotita de la animación.

Además de producir animaciones sobre conceptos y procedimientos de física, hemos creado otras para reforzar conceptos asociados de matemáticas. Nos resulta muy productivo ver en clase algunos conceptos matemáticos como respuesta a necesidades de la física, antes que esperar a usarlos como simple aplicación de unas matemáticas autónomas, supuestamente pre-estudiadas. La investigación educativa también ha señalado la conveniencia de superar la habitual ruptura o separación entre las matemáticas y la física en la enseñanza, por ejemplo, respecto a la comprensión y el uso del cálculo diferencial [7]. Y a ello puede ayudar el uso de cómo la que comentamos ahora, sobre el concepto de derivada y su relación con la velocidad instantánea:

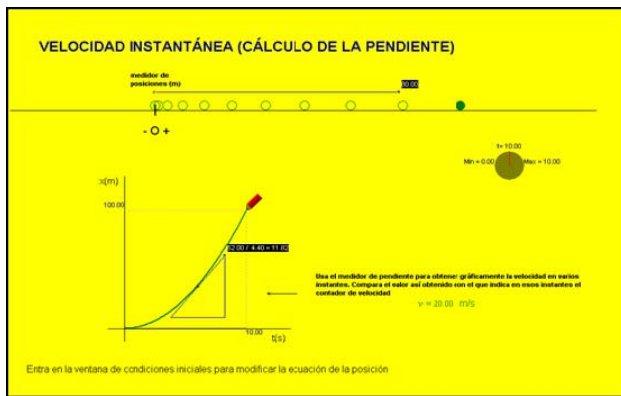


Figura 9: Velocidad instantánea y concepto de derivada.

**Velocidad instantánea (Cálculo de la pendiente)** Se representa cualitativamente un movimiento y se dibuja la gráfica de la evolución de la posición con el tiempo. En esta animación, hemos incorporado un medidor de la pendiente a la curva  $x = f(t)$  en cualquier punto. Practicando con este medidor el usuario comprueba que en cada punto, la pendiente de la tangente coincide con la velocidad instantánea que calcula directamente la animación. Entrando en la ventana de condiciones iniciales se puede modificar la aceleración, la posición y la

velocidad inicial del movimiento, lo que permite practicar con todo tipo de ejemplos.

Otra cuestión a considerar de las animaciones es el hecho de que pueden ampliar el abanico de situaciones abordables en la ESO y el Bachillerato sin incremento de la dificultad. En bastantes ocasiones, una simulación puede resolver un problema que sobrepasa el nivel matemático de los estudiantes y no es estrictamente necesario que ellos sepan resolver las ecuaciones. En lugar de esto, centramos su atención en los planteamientos que fundamentan esas leyes, en la adopción de condiciones simplificadoras, etc. Así, por ejemplo, usamos animaciones para tratar en 1º Bachillerato el problema del movimiento de caída de un objeto en la atmósfera (teniendo presente el rozamiento), para realizar en 2º Bachillerato un trabajo práctico sobre oscilaciones amortiguadas, etc.

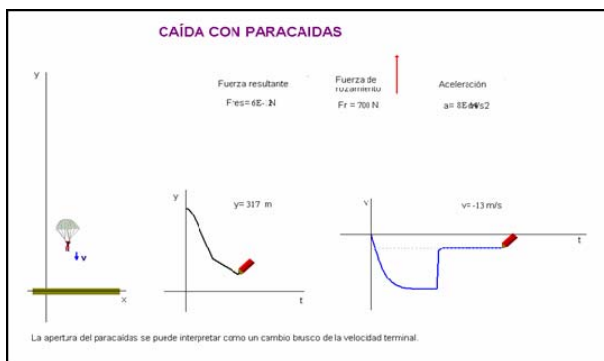


Figura 10: Animación sobre la caída en la atmósfera considerando el rozamiento y un paracaídas.

**Caída con resistencia y paracaídas:** Normalmente se considera despreciable el rozamiento en el estudio de la caída libre, lo que es aceptable en algunas situaciones, pero no siempre. Es habitual hacerlo así, entre otros motivos, porque los estudiantes no tienen nivel matemático suficiente para resolver las ecuaciones. Sin embargo, si lo tienen para plantearlas. No resulta muy difícil concebir la hipótesis una fuerza de resistencia que opone la atmósfera mayor cuando mayor sea la velocidad de penetración del objeto. En nuestras clases algunos alumnos también sugirieron la idea

de una velocidad terminal de caída (la velocidad aumenta hasta alcanzar un valor límite, a partir del cual la caída es uniforme) y nosotros les ayudamos a formalizar estos planteamientos escribiendo un coeficiente dependiente del peso del objeto y de esa velocidad terminal. Entonces, ¿por qué es necesario el paracaídas? La respuesta obviamente es que la velocidad terminal de caída de un objeto en el aire es bastante elevada, desde luego excesiva para un ser humano. Así pues, una vez resuelto el problema de la caída en el seno de la atmósfera conviene introducir el paracaídas (en el momento de abrirse disminuye bruscamente la velocidad, lo que es equivalente a plantear en el modelo una modificación brusca de la velocidad terminal)

Como seguramente conocerán bastantes profesores asistentes al XX Congreso, hace tres años producimos otra colección de animaciones sobre Relatividad en 2º Bachillerato, pero no les dedicaremos atención aquí, toda vez que ya mostramos aspectos de ese trabajo en el XVIII Congreso y también impartimos en el CEFORE de Ferrol un curso de formación sobre el tema, del que guardamos un grato recuerdo.

### **3. BREVE EXPLICACIÓN DE ALGUNOS DETALLES DEL PROCESO DE CREACIÓN DE LAS ANIMACIONES**

Después de manipular algunas animaciones y mostrar algunas de sus cualidades educativas, nos planteamos un segundo objetivo en este taller: poner en evidencia lo sencillo que puede resultar adquirir destreza en la creación de animaciones de elaboración propia y/o en la modificación de animaciones pre-existentes. Desde luego, no tendremos tiempo para desarrollar este punto con la extensión necesaria, pero nos gustaría despertar en algunos de los profesores asistentes al taller el gusanillo que les incite a embarcarse en este gratificante empeño, al que también nos ofrecemos a contribuir mediante nuestra oferta de formación docente sobre el tema.

En relación con este asunto, vamos a explicar brevemente la forma de proceder para crear la animación sobre las magnitudes descriptoras de los movimientos (posición, velocidad y aceleración) que hemos comentado en el apartado anterior (Figura 3)

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 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) que indicarán el valor de magnitudes y permitirán su modificación cuando se esté 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).

Animamos a los profesores interesados a realizar, a modo de prueba, este trabajo que puede llevar aproximadamente treinta minutos y permite obtener una animación interactiva muy completa, adecuada para que nuestros alumnos trabajen con las magnitudes fundamentales de cinemática.

Posteriormente se podrán embarcar en la creación de otras animaciones más complejas y, poco a poco, familiarizarse con algunas de las muchas cualidades interesantes del programa: interacción con directa con los objetos colocados en la pantalla (partículas, imágenes, vectores,...) incorporación de medidores específicos de longitudes, ángulos, pendientes,... introducción de fondos de pantalla, inserción de clips de video, deformación de los objetos que colocamos en la pantalla ligando, etc.

#### **4. DISPONIBILIDAD DE LOS TRABAJOS Y PROPUESTA DE FORMACIÓN**

Los profesores interesados en alguno de los trabajos premiados, pueden solicitar a los autores un CD con el trabajo completo sobre mecánica newtoniana y otro con el trabajo sobre relatividad. Una versión amplia y representativa, pero no completa del material, se puede ver y descargar en la página del Departamento de Física y Química del IES “Leonardo de Vinci” de Alicante: <http://intercentres.cult.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/fisica.htm>. En esta dirección también se pueden descargar animaciones para otros temas de Física.

Pero, queremos insistir otra vez en la conveniencia de que las animaciones puedan ser creadas o modificadas por los profesores. En el breve periodo de dos años hemos generado no menos de 100 animaciones adecuadas a nuestra intencionalidad educativa. Por eso, consideramos que otros docentes de física y química pueden ser autores de su propia biblioteca de modelos 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. Todo esto, tratamos de inculcar en las actividades de formación docente a que nos hemos referido más arriba. Su objetivo es familiarizar a los profesores de Física y de Química con estas aplicaciones y darles capacidad de elaborarlas de forma autónoma. El resultado muy positivo obtenido en sesiones ya impartidas en algunos Centros de Profesores nos anima a invitar a los profesores interesados, convencidos de que éste puede ser un buen camino para promover la apropiación de esta herramienta.

#### **Referencias**

[1] ALONSO, M, SOLER, V., 2005a, *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/>)

[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., SOLER, V., 2005b, Taller sobre enseñanza de la relatividad en bachillerato: unidad didáctica renovada, libro y animaciones informáticas. *XVIII Congreso de Enciga*. nº 58, 45-46.
- [4] 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.
- [5] CORTEL, A., 1999, Utilización de la informática en el laboratorio. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 19, 77-87.
- [6] 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>.
- [7] LÓPEZ GAY, R., 2002. *La introducción y utilización del concepto de diferencial en la enseñanza de la física. Análisis de la situación actual y propuesta para su mejora. Tesis doctoral*. Universidad de Madrid.