

USO DE LAS SIMULACIONES INFORMÁTICAS EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA NEWTONIANA. UNA EXPERIENCIA CON ALUMNOS DE 4º DE ESO

MARTÍNEZ-CASTROVERDE PÉREZ, Juan Antonio; Colegio Sagrada Familia, Cartagena

DE PRO BUENO, Antonio ; Universidad de Murcia, Dpto. Didáctica CC EE

RESUMEN

Hemos diseñado y aplicado una secuencia de enseñanza sobre Física newtoniana en la que las simulaciones por ordenador constituyen el elemento central de la propuesta, y en torno a las cuales se articulan actividades complementarias que buscan fomentar la reflexión tanto a nivel individual como de grupo.

Nuestra experiencia apunta a que las simulaciones son, en algunos casos concretos, una herramienta de alto valor pedagógico, tanto por los resultados que puede ofrecer, como por su carácter motivador, si bien en otras ocasiones su utilidad pedagógica está más limitada, pero su uso sigue siendo interesante como una herramienta más, que conviene compaginar con clases tradicionales de problemas y con prácticas de laboratorio.

1. Introducción

1.1. Situación actual de la enseñanza de las ciencias

Cada vez es más patente las dificultades que atraviesa la enseñanza de las ciencias en la actualidad, tanto en España como en otros países de Europa. Es una situación compleja, de múltiples causas y de difícil solución, pero lo cierto es que cada vez menos alumnos optan por cursar carreras de ciencias, hasta el punto de que está empezando a verse como una amenaza al futuro desarrollo científico y tecnológico de Europa [1].

La reducción alarmante de estudiantes que cursan estudios de carácter científico en la enseñanza universitaria empieza a gestarse en la educación obligatoria y en el bachillerato, donde, cuando es posible, los alumnos huyen de las asignaturas que les resultan más complicadas y menos interesantes, como las Matemáticas, la Física o la Química.

En la práctica, en la mayoría de las ocasiones se sigue enseñando de forma similar a como se hacía años atrás, cuando ni el alumnado ni la sociedad son las de antes, situación que no es coherente con las teorías más modernas del aprendizaje. En este contexto, parte del profesorado, y en particular del profesorado de ciencias, siente la necesidad de hacer algo por contribuir a cambiar esta tendencia.

Somos conscientes de que la solución no depende sólo de nosotros, pero al menos creemos que el profesorado puede contribuir en parte, siendo crítico con su actuación, explorando nuevos métodos educativos, e intentando motivar a sus alumnos cuando la motivación inicial de éstos no es la deseable.

1.2. La Física en Secundaria y Bachillerato

Resulta sorprendente lo poco que se entiende la Física: incluso si consideramos alumnos “de ciencias”, ya sean de ESO, Bachillerato, e incluso universitarios. Lo cierto es que hay aspectos de la Física básica, que no llegan a entenderse bien: nos referimos en concreto a la Primera Ley de Newton, la Segunda Ley de Newton, la Ley de la Gravitación Universal y sobre todo sus aplicaciones al movimiento orbital. ¿Tiene sentido que un alumno sepa formular leyes, resolver problemas asociados, pero en el fondo no entienda las leyes anteriores?

Tenemos el temor de que en muchas ocasiones, y muchas veces por el peso de la “tradicición”, el primer acercamiento de los alumnos a la Física resulta demasiado matemático: ya tiene suficiente dificultad la Física desde el punto de vista conceptual, para que a esto se le añada un aparato matemático, que en muchas ocasiones, ni siquiera se ha abordado en la materia de Matemáticas. Si a esto unimos que las horas para impartir Física son claramente insuficientes, nos encontramos con el problema de que no sólo el alumnado no comprende la Física sino que huye de ella.

¿Es razonable que muchos alumnos acaben la Educación Secundaria Obligatoria, sin apenas haber visto nada de Física? ¿Tiene sentido que un ciudadano responsable no haya asimilado logros intelectuales tan básicos e importantes como la Ley de la Inercia, la Segunda Ley de Newton o la Ley de la gravitación Universal? Aspectos tan importantes como la universalidad de las leyes de la Física, nuestra situación en el Universo (o nuestra comprensión del mismo), la conservación de la energía o entender noticias de actualidad quedarán fácilmente fuera del alcance de estos ciudadanos.

Podría no quedar más remedio que aceptar con resignación esta situación, ya que la comprensión de la Física no es fácil, pero no creemos que debamos hacer eso sin haber antes explorado hasta el final tanto los nuevos enfoques en la enseñanza de las ciencias, como las nuevas herramientas con las que hoy en día contamos: las nuevas tecnologías nos ofrecen nuevas posibilidades pedagógicas que hace pocos años eran impensables y que estamos empezando a aplicar.

1.3. Importancia de un entendimiento correcto de la Física Newtoniana

¿Cuál es la ley más importante de la Física? Probablemente sea la Segunda Ley de Newton. La Primera Ley de Newton es un caso particular de la Segunda, así que está contenida en ella. Sin estas leyes no se puede entender correctamente el mundo en el que vivimos. Sin ellas tampoco se puede entender la conservación de la energía, ya que sin inercia la energía mecánica no se mantendría constante. Pero es más: sin estas leyes tampoco se puede entender el movimiento orbital, ni la Teoría Cinético Molecular, ni por tanto la unicidad de las leyes de la Física...

Podemos decir, por tanto, que el que no entiende la Segunda Ley de Newton no entiende la Física, y sin embargo la mayoría de los alumnos acaban sus estudios sin entender, sin interiorizar, esta ley.

2. Diseño de simulaciones por ordenador para el aprendizaje de la Física

¿Cómo debe ser una simulación por ordenador para que active en el alumno los procesos mentales que le lleven a desechar esquemas erróneos previos, y le ayude a elaborar otros con los que poder explicar correctamente la realidad?

Hay simulaciones muy buenas, elaboradas, de difícil programación, pero que no suelen ser útiles en la enseñanza. Tras analizar múltiples simulaciones disponibles en internet, encontramos los siguientes fallos frecuentes en muchas de ellas:

- Son demasiado complicadas de usar y muestran demasiada información (el autor de la simulación, en su afán de hacer un buen trabajo, un trabajo que sea completo, suele sobrecargarlas, tanto en la información que aportan, como en las múltiples opciones que permite). Una consecuencia es que muchas precisan instrucciones, que el alumno no suele leer, con lo que gran parte de las posibilidades de la simulación no se utilizan. Otra consecuencia es que el exceso de información distrae al alumno, haciendo que no se fije en los datos que realmente son importantes para entender lo que pasa.
- Las simulaciones muchas veces no se diseñan con un fin pedagógico concreto, lo que dificulta que el alumno vea una finalidad pedagógica y, por tanto, sepa qué debe tratar de entender.

Requisitos que debe cumplir una simulación para que tenga utilidad pedagógica

- Debe ser de manejo evidente, a ser posible debe carecer de instrucciones
- Conviene que sea visualmente atractiva y que motive al alumno: proponer simulaciones a modo de juegos o desafíos, y cuando sea posible, representar objetos y situaciones de su interés personal
- El alumno debe de estar en condiciones de poder interpretar lo que ve: las simulaciones deben de estar correctamente secuenciadas, la notación debe de ser conocida por el alumno y la información no debe ser excesiva, incluir sólo lo realmente interesante desde el punto de vista pedagógico
- Conviene utilizar abundantemente las simulaciones para ayudar al alumno en la modelización de la realidad y para que éste visualice situaciones de valor pedagógico pero no cotidianas, bien porque están fuera de su entorno, o debido a la escala temporal o espacial que las hace no perceptibles

3. Secuencia de enseñanza propuesta

Nos situamos en el marco teórico del constructivismo [2, 3] :

- Hay ideas alternativas que se repiten en diferentes medios y edades
- Las ideas de los estudiantes son esquemas activos que son resistentes al cambio
- Las ideas previas determinan cómo el alumno interpreta la información que recibe

- Quien aprende construye activamente significados, en un proceso en el que las ideas previas desempeñan un papel crucial.

Asumir este marco teórico nos permite fundamentar nuestro trabajo, ya que el diseño de las pruebas, de la secuencia de enseñanza, de los aspectos en que nos hemos centrado en la evaluación, etc. se han visto orientados por los supuestos de este modelo de enseñanza-aprendizaje.

Desde este enfoque constructivista de la enseñanza, y apoyado por las nuevas tecnologías, que ayudan al alumno en la modelización del mundo, o en “ver” situaciones no cotidianas, la secuencia de enseñanza propuesta se presenta como una herramienta específicamente diseñada para ayudar a que los estudiantes de 4º de ESO (o Bachillerato) mejoren su nivel de comprensión de la Ley de la Inercia, la Segunda Ley de Newton y la Ley de la Gravitación Universal.

Las actividades propuestas no pretenden sustituir a las explicaciones del profesor, ni a las clásicas clases de “Problemas”: la asimilación de los conceptos físicos requiere tiempo, y cualquier aproximación didáctica contribuye a ello. La combinación oportuna de las múltiples herramientas con las que cuenta el profesor, puede facilitar en buena medida tanto la motivación del alumno como su proceso de aprendizaje.

En el diseño de la secuencia de enseñanza hemos considerado modelos para la planificación de Unidades Didácticas [4, 5] y también hemos tenido en cuenta propuestas educativas próximas al trabajo aquí desarrollado [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]

3.1. Ideas previas en nuestros alumnos

Dada la importancia de las ideas previas, éstas no pueden dejar de considerarse a la hora de diseñar una secuencia de enseñanza. Además de consultar la abundante bibliografía sobre ideas previas en Dinámica y Cinemática [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26], para realizar los materiales propuestos se quiso indagar de primera mano la física interiorizada por alumnos de Bachillerato, en concreto, tratamos de contestar la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los conocimientos, y más en concreto, cuál es el grado de comprensión que los alumnos de Bachillerato tienen sobre la Primera y Segunda Ley de Newton, sobre la Ley de la Gravitación Universal y sobre sus aplicaciones al movimiento orbital?

Como es habitual, incluso en estudiantes de Bachillerato, los alumnos presentan un bajo grado de comprensión en estos temas. Dentro del contexto escolar, cuando se les somete a preguntas cuantitativas típicas, rápidamente saben que tienen que utilizar una fórmula, y suelen responder correctamente si recuerdan esas fórmulas. Pero cuando se les pregunta de forma cualitativa, suelen responder recurriendo a sus esquemas mentales, muchos de ellos erróneos o alternativos, con frecuencia elaborados desde niños y que aplican, o no, según el contexto. Hay una baja coherencia entre los distintos esquemas que puede utilizar un alumno, hecho que en la mayoría de los casos pasa desapercibido para él.

Conclusiones obtenidas:

- En lo referente a la Ley de la Inercia, están a medio camino entre una visión newtoniana y aristotélica.

- Respecto a la Segunda Ley de Newton la situación es mucho peor: el número de respuestas aristotélicas es muy superior a las newtonianas.
- Las concepciones sobre la relación fuerza-movimiento en una órbita son casi exclusivamente alternativas: no se entiende el papel de la fuerza, se asume una inercia circular o se aceptan concepciones con graves errores dinámicos.
- Para las situaciones planteadas, en más de la mitad de los casos se afirma que no hay gravedad en el espacio.
- Es común aceptar la existencia de la Fuerza centrífuga y bastante frecuente el que la fuerza se acumula en los cuerpos.
- Las concepciones que tienen sobre las órbitas son casi un 100% alternativas.
- Todavía hay alumnos que cometen fallos en aspectos realmente básicos, casi se podría decir evidentes. Los fallos cometidos muestran, por ejemplo, que no entienden que la Fuerza de rozamiento se opone al movimiento o el significado de la Fuerza de reacción de un plano.

Si estas ideas se dan en alumnos de Bachillerato de “ciencias”, nos podemos hacer una idea bastante clara de qué podemos encontrarnos en los cursos anteriores, situación que no es sino reflejo de la dificultad que conlleva el aprendizaje de la Física, y de la necesidad de buscar métodos de enseñanza complementarios a los tradicionales.

4. Ejemplos de actividades propuestas

Las tablas siguientes son una muestra de la secuencia de enseñanza propuesta, y del papel que juega cada actividad dentro del modelo constructivista asumido.

4.1. Parte 1: Física Newtoniana en la vida diaria

Una muestra de esta primera parte de la secuencia de enseñanza se encuentra en las tablas 1, 2 y 3, cada una de las cuales considera una fase distinta de la secuencia (iniciación, construcción, aplicación).

Tabla 1: 1ª fase (iniciación)

preguntas clave	actividades	tipo de actividades
¿Es el reposo el estado natural de los cuerpos?	Reflexión y discusión sobre distintos aspectos que pueden ayudar a contestar si los cuerpos tienden al reposo, haciendo que el alumno tome conciencia tanto de sus ideas previas como de sus compañeros	Trabajo en grupo, con hojas de trabajo, supervisado por el profesor
¿Bajo qué condiciones un cuerpo mantiene su velocidad constante? ¿Cuáles son las fuerzas que intervienen en movimientos concretos?	Reflexión y discusión sobre las condiciones que hacen que un cuerpo tenga velocidad constante, identificando las fuerzas que intervienen en situaciones concretas, haciendo que el alumno tome conciencia tanto de sus ideas previas como de sus compañeros	Trabajo en grupo, con hojas de trabajo, supervisado por el profesor

Tabla 2: 2ª fase (construcción)

cuestiones clave	actividades	tipo de actividades
¿Cuál es el papel de la Fuerza total en el movimiento? ¿Qué papel desempeña el rozamiento?	Observar y reflexionar sobre el efecto que la fuerza resultante provoca en el movimiento, y sobre el papel que desempeña el rozamiento	Trabajo en grupo con la simulación <i>caída de globos</i> y hojas de trabajo
¿A mayor peso se cae antes?	Identificar situaciones concretas de cuerpos con más peso que tardan más en caer, comprobando la veracidad de las predicciones, y reflexionando dónde falla la afirmación de que a más peso se cae antes	Trabajo en grupo con la simulación <i>caída de globos</i> y hojas de trabajo
¿Cuál es el fundamento de un paracaídas?	Observar y reflexionar sobre el efecto que tiene sobre el movimiento el variar la Fuerza de rozamiento	Trabajo en grupo con la simulación <i>caída de globos</i> y hojas de trabajo, Desafío a modo de juego con la simulación por ordenador
¿Cuál es el papel de la Fuerza total en el movimiento?	Reflexión y discusión sobre el efecto que la fuerza resultante provoca en el movimiento	Trabajo en grupo, con hojas de trabajo, supervisado por el profesor
¿Cuál es el papel de la Fuerza aplicada en el movimiento, en situaciones donde NO hay rozamiento?	Reflexión y discusión sobre el efecto que la fuerza aplicada provoca en el movimiento en ausencia de rozamiento	Desafío a modo de juego con la simulación <i>Unión de naves en el espacio</i> . Hojas de trabajo
¿Qué papel desempeña la masa en el movimiento?	Reflexión y discusión sobre el papel de la masa en las aceleraciones y sobre el concepto de inercia	Desafío a modo de juego con la simulación <i>Relación entre fuerza y masa</i> . Hojas de trabajo
En el vacío ¿Por qué caen a la vez cuerpos con diferente masa?	Reproducir con la simulación este hecho experimental, observando las pistas que tanto esta simulación como la anterior proporcionan para interpretar el fenómeno. Lograr una explicación empleando fórmulas	Trabajo en grupo con una simulación por ordenador y hojas de trabajo
¿Qué leyes describen la relación entre la fuerza y el movimiento?	Lectura de un pequeño texto donde se recuerda la Primera y Segunda Ley de Newton, así como la definición de masa inercial	Lectura individual

Tabla 3: 3ª fase (aplicación)

cuestiones clave	actividades	tipo de actividades
¿Cómo interpretar correctamente el papel que juegan las distintas fuerzas en el movimiento de un coche?	Observar e interpretar correctamente la relación entre la fuerza aplicada, la fuerza de rozamiento, la fuerza total y el movimiento del coche en distintas situaciones planteadas	Trabajo en grupo con la simulación <i>coche</i> y hojas de trabajo

4.2. Parte 2: Aplicación al movimiento orbital

Igual que antes, una muestra de esta segunda parte de la secuencia de enseñanza se encuentra ahora en las tablas 4, 5 y 6, cada una de las cuales vuelve a considerar una fase distinta de la secuencia (iniciación, construcción, aplicación).



Tabla 4: 1ª fase (iniciación)

preguntas clave	actividades	tipo de actividades
¿Por qué flotan los astronautas?	Atender a los comentarios del profesor, relacionados con dos ideas previas erróneas sobre el porqué flotan los astronautas en el espacio. Calcular la Fuerza gravitatoria a la altura de la Estación Espacial Internacional	Exposición del profesor en gran grupo, con intervenciones de los alumnos. Ejercicio sobre papel y lápiz
¿Puede seguir un cuerpo una trayectoria circular sin que ninguna fuerza actúe sobre él?	Reflexión y discusión sobre las condiciones que hacen que un cuerpo siga un movimiento curvilíneo, haciendo que el alumno tome conciencia tanto de sus ideas previas como de sus compañeros	Trabajo en grupo, con hojas de trabajo, supervisado por el profesor
¿Por qué flotan los astronautas?	Atender a los comentarios del profesor, relacionados con otra idea previa errónea: el efecto de la fuerza centrífuga. Justificación de su no existencia	Exposición del profesor en gran grupo. Reflexión sobre la no necesidad de utilizar esa fuerza.

Tabla 5: 2ª fase (construcción)

preguntas clave	actividades	tipo de actividades
¿Qué relación hay entre una órbita y el lanzamiento de un proyectil? Condiciones de entrada y salida de órbita	Reflexionar sobre el lanzamiento de proyectiles a velocidades cada vez más elevadas. Observar las trayectorias que se van obteniendo en las simulaciones. Reflexionar sobre el concepto de órbita	Desafío a modo de juego con la simulación <i>Montaña Newtoniana lunar</i> . Reflexión en grupo guiada con hojas de trabajo y otras simulaciones.
¿Qué relación hay entre una órbita y un tiro parabólico?	Lectura de un pequeño texto donde se comenta cualitativamente las propiedades de las órbitas y su relación con el movimiento parabólico. Aplicar las propiedades vistas en una simulación.	Lectura individual. Desafío a modo de juego con la simulación <i>frenado_en_orbita</i>

Tabla 6: 3ª fase (aplicación)

preguntas clave	actividades	tipo de actividades
¿Por qué los satélites artificiales a veces encienden los motores? ¿Cómo se circulariza una órbita? ...	Actividades opcionales de ampliación: reflexionar en grupo e intentar dar una explicación a las cuestiones planteadas utilizando los conceptos vistos en la unidad y las pistas proporcionadas	Trabajo en grupo con hojas de trabajo supervisado por el profesor
¿Flotan los astronautas?	Leer los comentarios y observar en una simulación el origen de la flotación	Reflexión en grupo guiada con la simulación <i>Flotación en el espacio</i> y hojas de trabajo
¿Cómo funcionan los aviones de “gravedad cero”?	Leer los comentarios y observar en una simulación cómo se puede conseguir la “gravedad cero” sin salir de la atmósfera	Reflexión en grupo guiada con la simulación <i>Zero G</i> . Desafío a modo de juego
“Gravedad cero” en la vida cotidiana	Atender a los comentarios del profesor, relacionados con diversas situaciones que muestran que la “gravedad cero” está presente en la vida cotidiana	Demostraciones de aula y visionado de vídeos.

5. Ejemplos de algunas de las simulaciones utilizadas

Las simulaciones han sido realizadas por uno de los autores utilizando EJS [27, 28]. Las mismas se encuentran publicadas en Internet

(<http://www.fisicaconceptual.net/invitado/index.html>)

Para facilitar la simplicidad de uso, las simulaciones utilizadas suelen tener unos botones genéricos (*play*, *pause* y *reset*) de función casi evidente. Además, en todas la simulaciones se emplea la misma notación, que previamente se presenta al alumno: la flecha roja siempre representa el vector Fuerza Total, la flecha negra el vector Fuerza de Rozamiento (aéreo o de rodadura), y la flecha verde el resto de fuerzas.

5.1. Simulación: *Caída de globos*

La finalidad de la simulación es el estudio de objetos que caen (en presencia de atmósfera), y para ello busca que el alumno reflexione sobre el papel del peso, de la fuerza de rozamiento y de la Fuerza Total en el movimiento del globo y de esta forma corregir ideas previas erróneas bastante habituales, como el suponer que a mayor peso se cae antes.

El usuario puede controlar tanto el volumen como la masa de cada globo utilizando los deslizadores del mismo color que el globo sobre el que se quiere actuar (ver Fig. 1). La simulación muestra el vector Fuerza total (en rojo) que actúa sobre cada globo y su gráfica $v(t)$ de cada globo. Además el usuario puede elegir, activando la casilla correspondiente, que se vean o no los vectores Peso y Fuerza de rozamiento (en verde y negro respectivamente), o modificar la velocidad de la simulación.

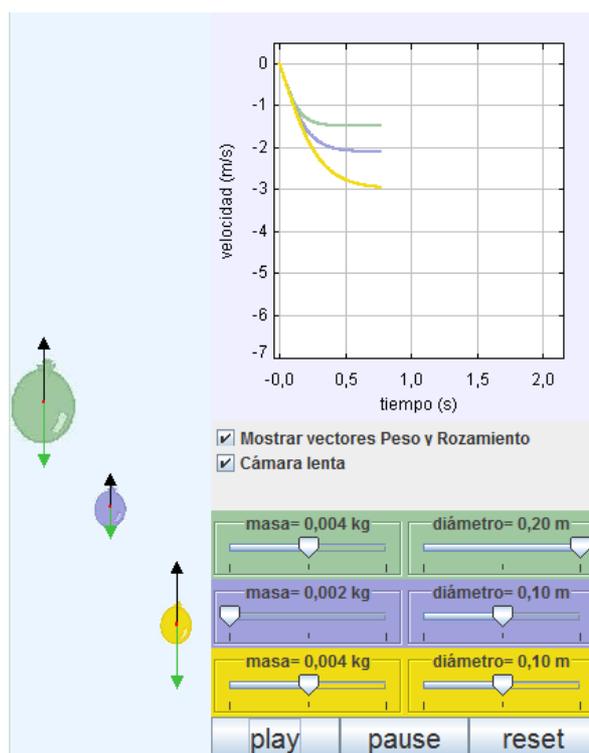


Figura 1: Simulación *Caída de globos*

5.2. Simulación: *Unión de naves en el espacio*

La simulación muestra el acoplamiento espacial de una nave con la ISS.

El usuario puede controlar, por medio de un deslizador (ver Fig. 2), el empuje de los cohetes en los dos sentidos de la dirección de movimiento de la nave. La simulación muestra el vector Fuerza total (en rojo) que actúa sobre la nave y la gráfica $v(t)$ de la misma. Además hay un

indicador del “combustible” que le queda a la nave (propelente) y una cámara de vídeo que ofrece la posibilidad de ver la nave desde otro sistema de referencia inercial y que resulta de utilidad a algunos alumnos a la hora de entender por qué una fuerza aplicada en una dirección y sentido determinado no tiene por qué provocar necesariamente de forma inmediata un avance en esa dirección: todo depende del sistema de referencia considerado. Se puede ver la grabación en la esquina inferior derecha de la ventana.

La finalidad de la simulación es que el alumno se dé cuenta de la equivalencia entre la Fuerza Total y la Fuerza de Empuje cuando no hay Fuerza de Rozamiento, y reflexione y se familiarice con el efecto que la Fuerza Total provoca sobre un cuerpo y de esta forma corregir ideas previas erróneas bastante habituales, como el suponer que la velocidad es proporcional a la fuerza. Con éste propósito, la alta velocidad inicial de la nave, alejándose de la estación espacial, pretende buscar el conflicto conceptual que ayude al alumno a madurar ideas.

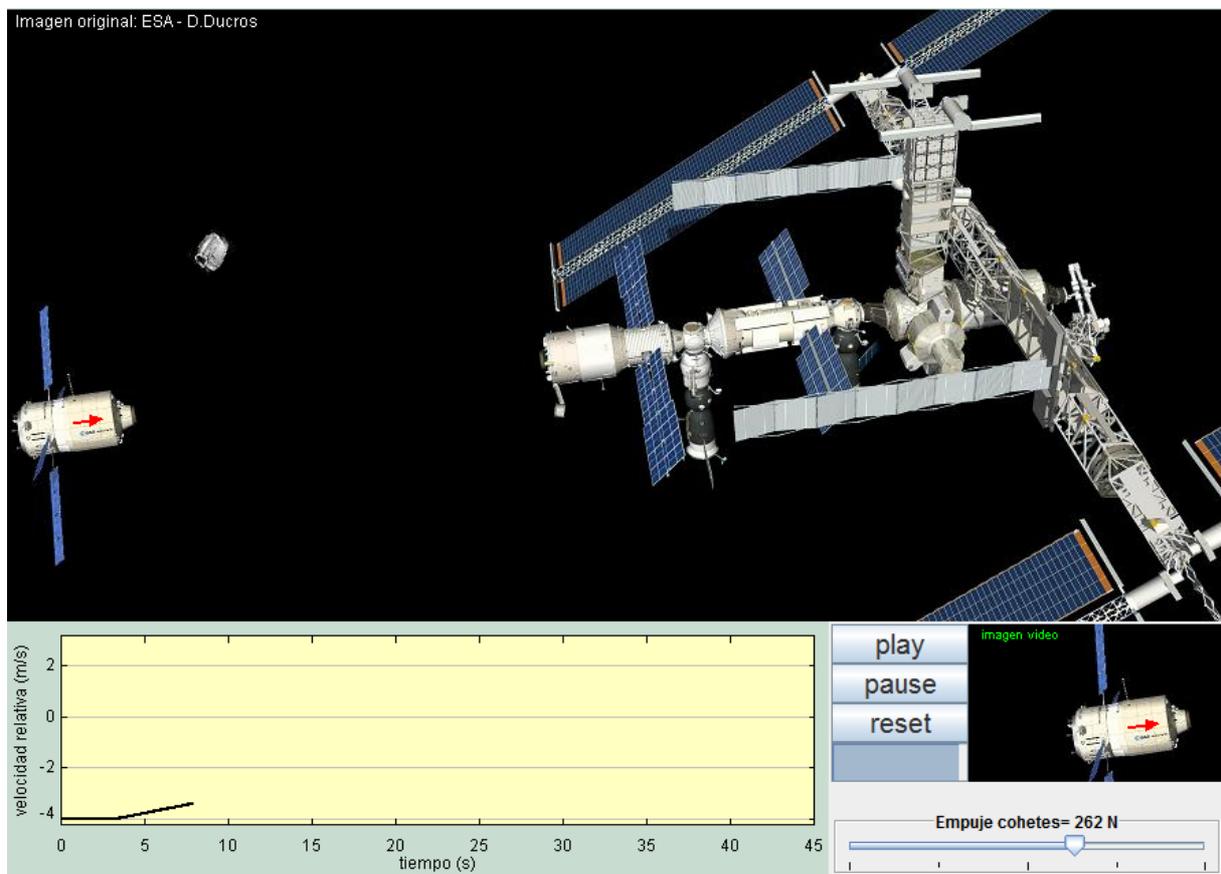


Figura 2: Simulación Unión de naves en el espacio

La simulación se propone como un juego-desafío, para aumentar el carácter motivador de la misma. El reto no es fácil de superar, ya que hay que unir las dos naves en el tiempo disponible y sin agotar todo el “combustible”. Para conseguirlo se debe lograr simultáneamente tanto que la velocidad relativa sea nula, como que las zonas de unión coincidan, y hacer esto, con la limitaciones de tiempo y combustible señaladas, tiene cierta dificultad y será imprescindible utilizar a conciencia la fuerza de empuje aplicada.

5.3. Simulación: *Relación entre fuerza y masa*

La simulación muestra tres bolas de acero a las que se les aplican diferentes fuerzas. Suponemos que las bolas se encuentran en un lugar donde no hay fuerza de rozamiento

(podría ser el espacio) y en consecuencia la fuerza aplicada coincide con la Fuerza Total.

El usuario puede controlar, por medio de deslizadores (ver Fig. 3), la masa de cada bola (y en consecuencia su volumen, puesto que la densidad es fija) y la fuerza que actúa sobre cada una. Como en otras simulaciones, cada bola tiene un color y tiene asociados los deslizadores con ese color.

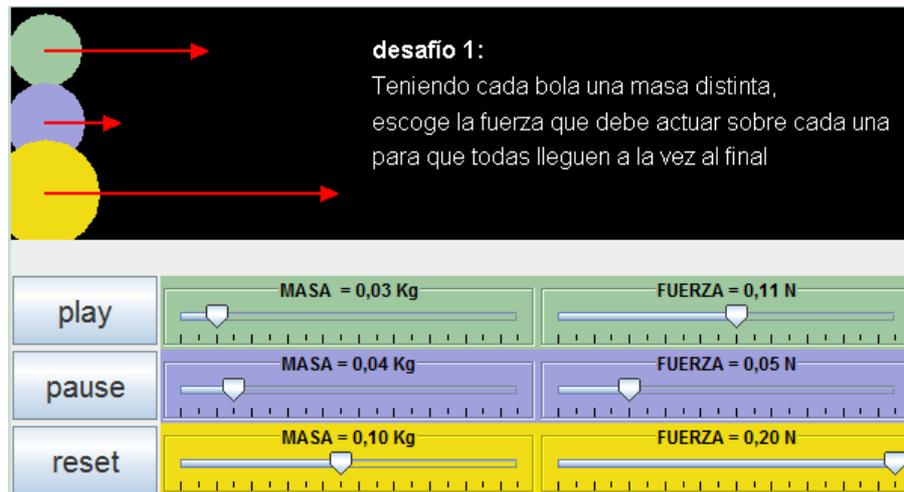


Figura 3: Simulación *Relación entre fuerza y masa*

La finalidad de la simulación es que el alumno reflexione sobre la relación que hay entre la Fuerza Total y la aceleración, y sea capaz de reconocer que esta relación viene expresada de forma cuantitativa por la Segunda Ley de Newton.

La simulación plantea al alumno tres ejercicios de dificultad creciente a modo de juego-desafío. El reto no es fácil de superar, y para facilitar los cálculos los valores de las variables son discretos y no continuos. El reto contempla una componente de cálculo matemático, que puede abordarse mentalmente.

5.4. Simulación: *Coche*

En la simulación coche tenemos el movimiento de un automóvil cuando se consideran fuerzas de rozamiento parecidas a las que intervienen en la vida diaria: un rozamiento aéreo proporcional al cuadrado de la velocidad, y un rozamiento de rodadura constante.

Se puede controlar, por medio de un deslizador (ver Fig. 4), la fuerza aplicada al coche, que será la fuerza motor o bien la fuerza de frenado según el sentido en el que se aplique. La simulación muestra el vector Fuerza total (en rojo) que actúa sobre el coche y los vectores (en verde) Fuerza aplicada (del motor o del freno) y (en negro) Fuerza de rozamiento aéreo-rodadura. También se representa la gráfica $v(t)$.

La finalidad de la simulación es que el alumno reflexione sobre la relación entre “el acelerador” de un vehículo y su velocidad.



Figura 4: Simulación *Coche*

5.5. Simulación: Montaña Newtoniana lunar

La Simulación muestra las trayectorias que describirían proyectiles lanzados horizontalmente desde lo alto de una montaña lunar, tratando de impactar contra un objetivo representado por una marca roja (ver Fig. 5) que cada vez se sitúa a mayor distancia del punto de lanzamiento. Estamos por tanto ante una versión de la Montaña Newtoniana.

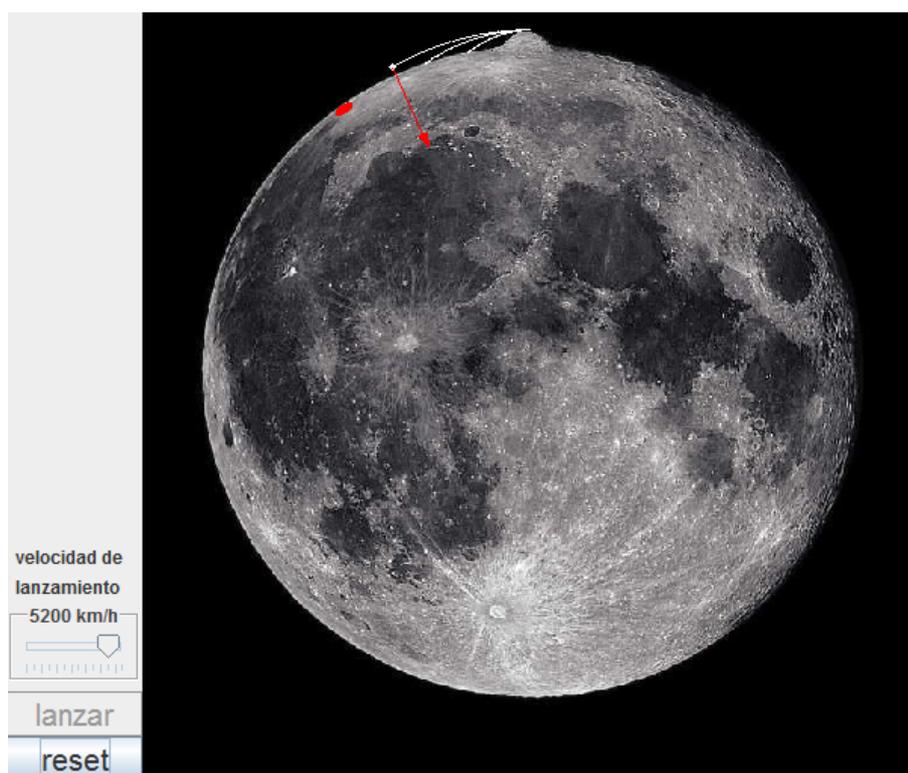


Figura 5: Simulación *Montaña Newtoniana lunar*

Al no haber fuerza de rozamiento, la fuerza gravitatoria coincide con la Fuerza Total (flecha roja). El usuario puede controlar, por medio de deslizadores, velocidad de lanzamiento del proyectil, dentro de un intervalo cuyos valores extremos y número de valores internos posibles varían según la distancia del objetivo.

Es la misma simulación la que mediante mensajes va guiando al alumno sobre lo que tiene que hacer, además de centrar su atención en lo que sucede.

La última parte de la simulación propone al alumno que consiga una órbita circular, al lanzar el proyectil desde lo alto de la montaña con la velocidad adecuada, además de centrar su atención en cómo varían las órbitas en función de la velocidad de lanzamiento.

La finalidad de la simulación es que el alumno reflexione sobre la equivalencia entre un “tiro parabólico” (o un “tiro horizontal”) y una órbita, y de cómo la trayectoria viene determinada por la velocidad de lanzamiento. Asimismo interesa que el alumno comprenda que sea cual sea el tipo de trayectoria, la Fuerza Normal siempre provoca el mismo efecto: curva la trayectoria.

5.6. Simulación: Satélite en órbita lunar

La simulación muestra un satélite en órbita lunar, inicialmente circular.

El usuario puede controlar, por medio de tres botones, el tipo de frenado que quiere que se aplique a la nave. La fuerza de frenado siempre se aplica en la misma dirección que la velocidad, pero en sentido contrario. Cada uno de los tres botones de frenado sirven tanto para activar como para desactivar el frenado, pudiendo ser éste “muy fuerte”, “medio” o “suave” (ver Fig. 6). Por otro lado, la simulación ofrece al usuario un indicador de “combustible” que le queda al satélite y un indicador de su altura respecto a la superficie lunar.

La simulación tiene varios propósitos: por un lado muestra qué es lo que hay que hacer para que una nave espacial caiga al planeta que orbita.

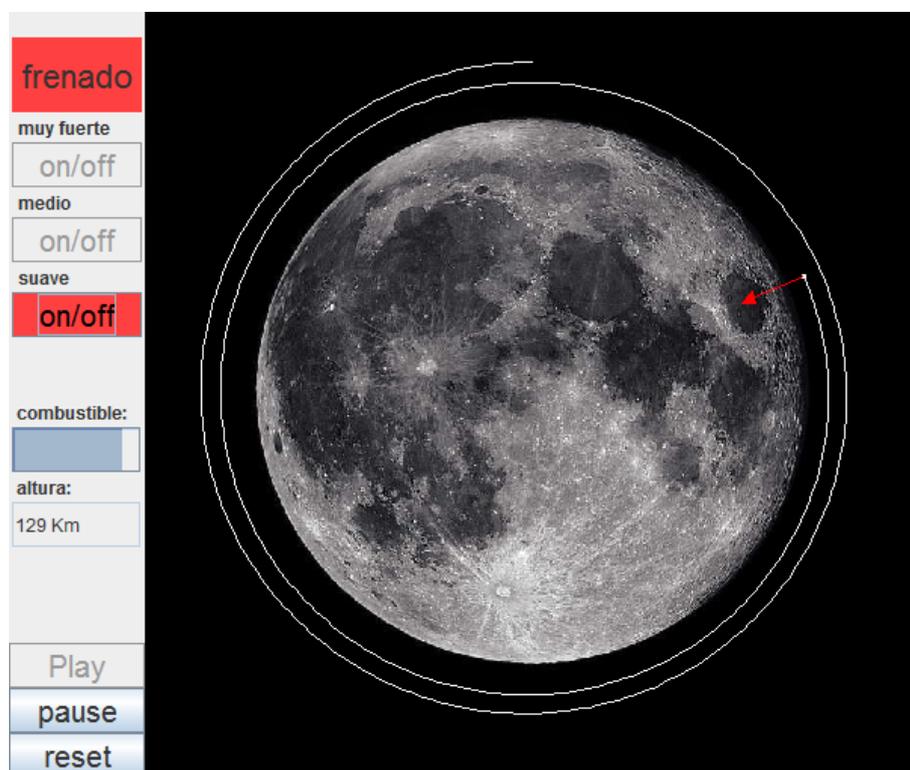


Figura 6: Simulación *Satélite en órbita lunar*

Por otro lado la simulación sirve para que el alumno aplique las propiedades de las órbitas, ya que se le proponen varios desafíos a modo de juego en los que tiene que pasar de una órbita circular a otra órbita circular de menor radio. Se ensaya en consecuencia el proceso de circularización de una órbita y además el alumno experimenta el efecto de un proceso de frenado suave, como el que ocurre en los satélites con las capas altas de la atmósfera, y que origina una espiral decreciente.

5.7. Simulación: *Flotación en el espacio*

Ésta simulación aborda cómo es posible que los astronautas floten: la simulación ilustra que la “flotación” es una simple apariencia.

La simulación ofrece al usuario seis botones (ver Fig. 7): el botón *introducción* ofrece una explicación comentada de cómo se produce la ilusión de la “flotación”, explicación que recurre a la grabación de vídeo para mayor claridad. Esta grabación de vídeo se ofrece siempre al alumno como recurso pedagógico.

Los otros cinco botones: *tiro parabólico*, *tiro horizontal*, *dejar caer*, *tiro vertical* y *órbita circular*, ilustran que en todos estos movimientos se produce la ilusión de flotación. Esto es importante porque muestran que la flotación no es algo exclusivo de las órbitas, sino que es en general propio de todo movimiento de “caída”.

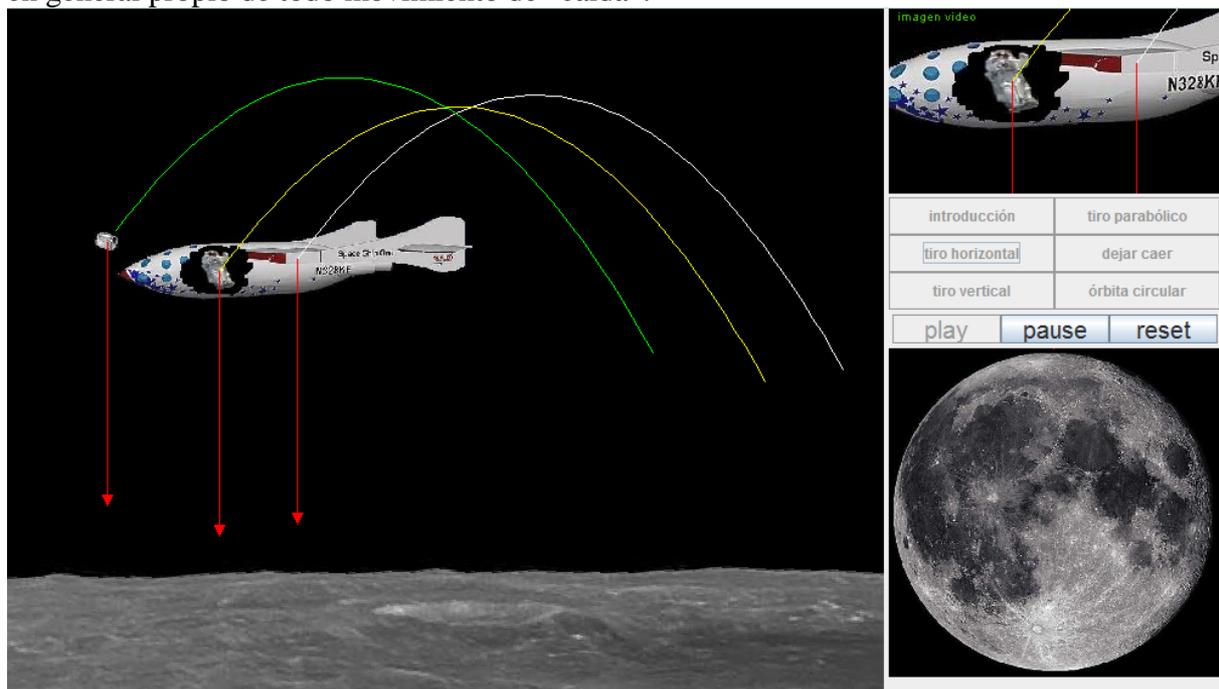


Figura 7: Simulación *Flotación en el espacio*

5.8. Simulación: *Avión Zero G*

Esta simulación pretende poner en práctica los conocimientos adquiridos de forma que nos permita entender una tecnología presente en nuestros días, como son los aviones de gravedad cero.

La simulación ofrece al usuario el botón *desafío* (ver Fig. 8) y un deslizador para controlar la fuerza de empuje de los motores, que se puede variar desde cero a su valor máximo. También ofrece al usuario información sobre la velocidad del avión y su altura. La ventana superior

derecha, que muestra una vista ampliada del avión, será de especial utilidad cuando se plantee al alumno el desafío.

Consideremos que las fuerzas que actúan sobre el avión son la fuerza gravitatoria (la vertical en verde), la fuerza de rozamiento (en negro) y la fuerza proporcionada por los motores (en verde). La simulación también representa la Fuerza Total (en rojo).



Figura 8: Simulación Avión Zero G

El botón *introducción* ofrece una explicación comentada de cómo son las parábolas que realiza el avión, de la información que ofrece la simulación, y de lo que se debe hacer para que la trayectoria sea una parábola.

El botón *desafío* permite al alumno manejar el empuje de los motores del avión para conseguir un periodo de “ingravidez” de 20 s de duración. Este periodo es el que supuestamente se necesita para realizar un experimento que fracasará si el dispositivo experimental choca antes de finalizar el experimento con las paredes que lo rodean. La simulación avisa al alumno si el experimento ha concluido con éxito o no.

Como simplificación, la simulación no considera el Principio de Arquímedes, cuyo efecto sería despreciable, ni tampoco la fuerza de sustentación, cuyo efecto es muy importante, pero que se considera que por interés pedagógico conviene en un primer momento ignorar.

6. Experiencias previas de implementación de las actividades

La secuencia de enseñanza propuesta es el fruto de una maduración de ideas que empezó en el año 2000. En varias ocasiones, tanto dentro como fuera del horario escolar, y en varios niveles educativos, se han implementado secuencias de enseñanza basadas en simulaciones.

Esta experiencia previa, ha permitido mejorar notablemente tanto las simulaciones seleccionadas, como los detalles de las mismas: han sido varias las simulaciones descartadas por su bajo interés didáctico y a su vez, los problemas didácticos que se iban planteando han dado pistas para mejorar las simulaciones o para crear otras nuevas, que permitan trabajar más algunas ideas que no quedaban suficientemente claras.

Una conclusión destacada, fruto de esta experiencia, ha sido la de incluir nuevas actividades de revisión, ya que muchos alumnos no llegan a ser conscientes de sus errores, incluso aunque en actividades anteriores dijeran o escucharan lo contrario, o aunque la simulación les muestre visualmente que se equivocan.

Como anécdota, podemos señalar que la imagen de vídeo que aparece en algunas simulaciones fue idea de algunos alumnos, al darse cuenta que compañeros suyos tenían problemas relacionados con el cambio de sistema de referencia.

7. Efectos de las secuencias de enseñanza implementadas en el aprendizaje de los alumnos

Para analizar el aprendizaje de los alumnos se les pasó una prueba inicial y otra equivalente después de la secuencia de enseñanza, ambas de respuesta abierta y cualitativa. La elaboración de dichas pruebas fue un proceso largo, en el que se recogieron aportaciones de los autores de este trabajo, así como de otros investigadores [29]. Durante varios años fue probada con alumnos y poco a poco mejorada.

Utilizando técnicas de Análisis de Relatos [30] hemos podido comprobar un progreso notable con los temas relacionados con el movimiento orbital: gravedad en el espacio, concepciones de las órbitas o de la dinámica del movimiento orbital. Por el contrario, el progreso es limitado en relación con las ideas alternativas de fuerzas o en la comprensión correcta de las leyes de Newton.

Este resultado parece lógico: las ideas forjadas por interpretación de la experiencia cotidiana han sido asimiladas por el alumno desde pequeño, y por eso están más interiorizadas y son más reacias al cambio.

Ha quedado también claro que la maduración de ideas por parte del alumno requiere su tiempo: algunas de ideas que aparecen son tan novedosas para los esquemas mentales de algunos alumnos que puede ser contraproducente no trabajarlas de forma adecuada. Esta idea queda reflejada en la afirmación de un alumno en pleno conflicto conceptual: “debería haber más tiempo, ahora tengo más dudas que antes”

Puesto que los resultados de la implementación apuntan a que una comprensión correcta del movimiento espacial no es difícil de conseguir con el empleo de simulaciones, esto sugiere que puede ser muy conveniente la aplicación de la siguiente estrategia didáctica: una vez entendido lo relacionado con el movimiento orbital, debemos explotar estas ideas al máximo para lograr mayores avances en relación con la Física Newtoniana de la vida diaria. Tenemos por un lado que el movimiento en el espacio es el mejor “banco de pruebas” para comprobar la validez de las ideas newtonianas y lo erróneo de las aristotélicas, y por otro lado, la comprensión del movimiento espacial eliminará ideas previas de los alumnos incompatibles con la mecánica newtoniana y que dificultan el progreso intelectual del alumno ya que, al negar la leyes de newton, dificultan su implantación y además favorecen la coexistencia de esquemas mentales incompatibles.

8. Conclusiones finales

- Hemos podido comprobar varios aspectos realmente interesantes que conlleva el empleo de simulaciones en el aprendizaje de la mecánica newtoniana:
- Las simulaciones se muestran como una herramienta de alto valor pedagógico en algunos casos concretos

- En otras ocasiones su utilidad pedagógica está más limitada, pero su uso sigue siendo interesante su uso como una herramienta más: conviene compaginar el uso de simulaciones con clases tradicionales de problemas y con prácticas de laboratorio planteadas como trabajos de investigación.
- El uso de las simulaciones puede resultar muy motivador para el alumno. En ocasiones el alumno aprende sin darse cuenta

9. Referencias

- [1] Pro, A. (2005) ¿Tenemos problemas en la enseñanza de las ciencias? Algunas reflexiones ante un nuevo y desconocido currículum de ciencias en la obra de Echeverría y otros. XXI Encuentros sobre Didáctica de Ciencias Experimentales: *La Didáctica de las Ciencias Experimentales ante las Reformas Educativas y la convergencia Europea*. UPV, servicio editorial. pp 17-35
- [2] Driver, R., (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias, *Enseñanza de las Ciencias* 6(2), 109-120
- [3] Osborne, R.J. y Wittrock, M.C., (1985). The generative learning model and its implications for science education, *Studies in science education*, 12, 59-87
- [4] Sánchez, G.; Valcárcel, M.V. (1993). *Diseño de unidades didácticas en el área de Ciencias Experimentales*. Enseñanza de las Ciencias, 11(1). pp. 33-44
- [5] García Arques, J.J.; Pro, A.; Saura, O. (1995). *Planificación de una unidad didáctica: el estudio del movimiento*. Enseñanza de las Ciencias, 13(2), pp. 211-226
- [6] Sierra, J.L.(2003). *Estudio de la influencia de un entorno de simulación por ordenador en el aprendizaje por investigación de la Física en Bachillerato*. Tesis doctoral, Universidad de Granada
- [7] Hewson, P. (1990) *La enseñanza de “fuerza y movimiento” como cambio conceptual*. Enseñanza de las Ciencias, 8(2), pp. 157-171
- [8] Hewson, P.; Beeth, M. (1995). *Enseñanza para un cambio conceptual: ejemplos de fuerza y movimiento*. Enseñanza de las Ciencias, 13(1), pp. 25-35
- [9] Martínez, B.; Juan, A.; Juliá, M. (2003). *Introducción del concepto de aceleración utilizando programas informáticos de simulación*. Alambique, 37, pp. 106-112
- [10] Peduzzi, L.; Zylbersztajn, A. (1997). *La física de la fuerza impresa para la enseñanza de la mecánica*. Enseñanza de las Ciencias, 15(3), pp. 351-359
- [11] Zalamea; E.; Paris, R. (1992). ¿Es la masa la medida de la inercia? Enseñanza de las Ciencias, 10(2), pp. 212-215
- [12] Hermann, H. (2003) *Aristotle still wins over Newton*. CoLoS

- [13] CAÑIZARES, M y DE PRO, A. “El uso de simulaciones en la enseñanza de la Física”. En Alambique. Editorial Graó, Barcelona, 2006, pp 66-75.
- [14] CAÑIZARES MILLÁN, M. “Una experiencia de utilización de simulaciones informáticas en la enseñanza secundaria”. En *Educatio Siglo XXI*, nº 23. Universidad de Murcia, 2005, pp141-170.
- [15] García-Estañ, R.; Pro, A.; Sánchez, G.; Sánchez, M.J.; Valcárcel, M.V.(1988) *El aprendizaje de la Física en EGB. Exploración diagnóstica en Murcia*. Murcia: ICE
- [16] Gunstone, R.; Watts, M. (1989). Fuerza y movimiento. En la obra de Driver, Guesne y Tiverghiem. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, pp 137-167. Madrid: Morata
- [17] Hierrezuelo, J. ; Montero, A. (1989). *La ciencia de los alumnos*, pp. 67-115. Madrid: Laia-MEC
- [18] Inhelder, B.; Piaget, J.; (1985). *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*, pp 76-85; 109-116. Barcelona: Paidós
- [19] Shayer, M.; Adey. P. (1984). *La ciencia de enseñar Ciencias*, pp 92-127. Madrid: Narcea
- [20] Carrascosa, J.; Gil, D.; (1992). *Concepciones alternativas en Mecánica*. Enseñanza de las ciencias, 10(3), pp. 314-328
- [21] Jiménez, E.; Solano, I. ; Marín, N. (1997). *Análisis de la situación actual de las ideas de los alumnos sobre el concepto de fuerza cuando se le plantean situaciones de equilibrio mecánico estático*. En la obra de Jiménez y Wamba: Avances en la Didáctica de las Ciencias Experimentales, pp. 155-162. Huelva: Serv. Publicaciones de la Universidad.
- [22] Martínez, J.A. (2000). *Un problema planteado como actividad de investigación: estudio de las posibles trayectorias para el lanzamiento efectivo de un tiro libre de baloncesto*. Enseñanza de las ciencias, 18(1), pp. 131-140
- [23] Jiménez, E.; Solano, I. ; Marín, N. (1997). *Estudio de la progresión en la delimitación de las “ideas” del alumno sobre fuerza*. Enseñanza de las Ciencias, 15(3), pp. 309-328
- [24] Solano, I. ; Jiménez, E.; Marín, N. (2000). *Análisis de la metodología utilizada en la búsqueda de “lo que el alumno sabe” sobre fuerza*. Enseñanza de las ciencias, 18(2), pp. 171-188
- [25] Pozo, J.I.; Gómez, M.A. (1988). *El aprendizaje de la Física*. En la obra de Pozo y Gómez: *Aprender a enseñar ciencias*, pp-205- 262. Madrid: Morata
- [26] Varela, P. (1996). *Las ideas del alumnado en física*. Alambique, 7, pp. 45-52
- [27] ESQUEMBRE, F. EJS “Easy Java Simulations“, <http://www.um.es/fem/Ejs/>

- [28] ESQUEMBRE, F, *Creación de Simulaciones Interactivas en Java. Aplicación a la Enseñanza de la Física*, Pearson Education, 2005
- [29] Viennot (2003). *Teaching Physics*. Netherlands: Kluwer Academia Publishers
- [30] SERRANO PASTOR, F.J. (1999) *Análisis de relatos*.