

LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL AULA DE FÍSICA CON SIMULADORES INFORMÁTICOS: *INTERACTIVE PHYSICS VERSUS MOBILE*

PERALES¹, F. J. y SIERRA², J. L.

¹ Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Granada.

² IES Híponova. Montefrío. Granada.

Palabras clave: Tecnología de la información y comunicación; Simulación por ordenador; Aprendizaje exploratorio; Interactive Physics.

OBJETIVOS

- Diseñar distintos simuladores en el entorno de Interactive Physics.
- Diseñar actividades de investigación adecuadas para el alumnado de bachillerato y para los simuladores utilizados en el aula.
- Fomentar el aprendizaje cooperativo entre los estudiantes.
- Introducir a los estudiantes en la cultura científica actual que concibe la simulación por ordenador como una herramienta fundamental para la investigación y la experimentación.

MARCO TEÓRICO

Uno de los objetivos clave en la enseñanza de la Física es establecer una relación entre los objetos, eventos y fenómenos del mundo real y las teorías y modelos que permiten su interpretación al estudiante. Estos mundos remiten a esquematizaciones próximas pero diferentes: el mundo de los modelos y de los signos con el mundo real de los objetos y eventos (Beaufils, 2000). En este contexto, la simulación por ordenador puede facilitar la conexión entre la realidad y los modelos explicativos, ya que incorpora procedimientos de cálculo numérico y de representación gráfica para reproducir algún aspecto de un fenómeno o dispositivo, analizado a la luz de un determinado modelo físico.

Algunas de las ventajas destacables de la simulación por ordenador como recurso didáctico son las siguientes (Sierra, 2000):

- Permite reproducir fenómenos naturales difícilmente observables de manera directa en la realidad, por motivos diversos: peligrosidad, escala de tiempo, escala espacial o carestía del montaje.
- El alumno pone a prueba sus ideas previas acerca del fenómeno simulado mediante la emisión de hipótesis propias, lo cual redundará en una mayor autonomía del proceso de aprendizaje.
- El alumno comprende mejor el modelo físico utilizado para explicar el fenómeno, al observar y comprobar interactivamente la realidad que representa.
- La simulación posibilita extraer una parte de la física que subyace en una determinada experiencia, simplificando su estudio, lo que facilita la comprensión del fenómeno.
- El alumno puede modificar los distintos parámetros y condiciones iniciales que aparecen en el modelo

físico del simulador, lo que ayuda a formular sus propias conclusiones a partir de distintas situaciones.

- La simulación evita al alumno los cálculos numéricos complejos, lo que le permite concentrarse en los aspectos más conceptuales del problema.
- La simulación ofrece al alumno una amplia variedad de datos relevantes, que facilita la verificación cualitativa y cuantitativa de las leyes científicas.
- Los problemas físicos con un trasfondo matemático complejo pueden ser tratados, haciéndolos asequibles al estudiante (sistemas no lineales, caos,..)

Por otra parte, la simulación permite al alumno la adquisición de diversos contenidos (Sierra y Perales, 1999):

- *Contenidos conceptuales*, relacionados con fenómenos naturales físicamente inaccesibles, peligrosos, complejos, que necesitan montajes experimentales caros, que tienen lugar en intervalos espaciales y temporales inusuales, etc.
- *Contenidos procedimentales*: elaboración de conjeturas que pueden ser contrastadas; deducción de predicciones a partir de experiencias, datos, etc; emisión de hipótesis a partir de una teoría; construcción de relaciones de dependencia entre las variables; realización de un proceso de control y de exclusión de variables; elaboración de una estrategia para la resolución de un problema; registro cualitativo y cuantitativo de datos; interpretación de observaciones, datos, medidas, etc; formulación de relaciones cualitativas; manipulación de modelos analógicos.
- *Contenidos actitudinales*: reconocimiento de la influencia de los modelos en la elaboración del conocimiento científico; reconocimiento del carácter provisional y perfectible de los modelos.

La teoría constructivista del aprendizaje concibe al alumno como un agente activo en la adquisición de conocimiento. El modelo didáctico de aprendizaje por descubrimiento guiado asume esta premisa. La información no es ofrecida a los alumnos de manera expositiva, sino que un entorno abierto de aprendizaje promueve que sean los alumnos por sí mismos quienes construyan su propio conocimiento, mediante la indagación, la resolución de problemas, los razonamientos hipotético-deductivo e inductivo, etc.

Njoo y de Jong (1991) consideran el aprendizaje exploratorio importante, ya que los contenidos conceptuales pueden ser aprendidos mejor y con más profundidad, a la vez que se aprenden contenidos procedimentales.

La simulación por ordenador se adapta adecuadamente a una estrategia de aprendizaje exploratorio, ya que oculta un modelo que debe descubrir el alumno. Además, la simulación sitúa al estudiante en un mundo intermedio entre lo concreto y lo abstracto, que le ayuda a progresar de la fase concreta de su desarrollo a la fase formal (Valente y Neto, 1992).

Sin embargo, los estudios sobre aprendizaje exploratorio con simulaciones por ordenador no arrojan éxitos concluyentes (Rivers y Vockell, 1987; Ronen, Langley y Ganiel, 1991; Gorsky y Finegold, 1992; Geban, Askar y Ozkan, 1992; Lewis, Stern y Linn, 1993; Jimoyiannis y Komis, 2001).

Njoo y de Jong (1993) identifican dos razones para justificar la relativa ineficacia del simulador como recurso didáctico: en primer lugar, los procesos implicados en el aprendizaje exploratorio son difíciles para los estudiantes, y por otra parte, éstos no son tan activos como asumimos y por tanto, aun teniendo las destrezas necesarias, los alumnos no suelen aplicarlas.

Desde otra perspectiva, Rezaei y Katz (2002) analizan la insuficiente eficacia didáctica de la simulación por ordenador enfocando la atención sobre la calidad del software utilizado en el aula. Estos autores consideran que de entre los numerosos programas de simulación existentes en el mercado, tan sólo unos pocos se fundamentan en las teorías validadas sobre el aprendizaje y en la didáctica de las ciencias experimentales.

Esta circunstancia puede ser superada si el simulador incorpora determinadas medidas instructivas:

- Implementación de modelos de complejidad creciente (White, 1998).

- Prohibición a los alumnos de introducir ciertos valores a algunas variables.
- Riqueza conceptual de los fenómenos simulados y variedad de los métodos de investigación demandados al alumno.
- Estímulo a los alumnos para llevar a cabo acciones exploratorias, lo cual está estrechamente vinculado a la complejidad del simulador.
- Orientación en el modo de actuar del alumno, permitiéndole un margen de libertad adecuado que favorezca el desarrollo de un razonamiento divergente.
- Sistemas de ayuda asociados al simulador sobre distintos aspectos (conceptos implicados en el problema propuesto, utilización del programa y estrategias puestas en juego) encaminados a evitar que el alumno con insuficiente conocimiento de la materia actúe de modo arbitrario y sin planificación.
- Equilibrio entre medidas obligatorias (de cumplimiento obligado por los alumnos) y medidas no obligatorias (los alumnos tienen el control sobre el uso de las medidas instruccionales).

DESARROLLO DEL TEMA

Durante el curso académico 2001-02 se lleva a cabo una experiencia innovadora en el I.E.S. *Abdera* de Adra (Almería) consistente en la realización de pequeños trabajos de investigación sobre mecánica newtoniana por estudiantes de bachillerato con ayuda de distintos simuladores desarrollados en el entorno comercial *Interactive Physics* (2000). La actuación en el aula diseñada inicialmente como una innovación educativa, evolucionó hacia una investigación sobre la imagen dinámica en la enseñanza de la física (Perales, Sierra y Vílchez, 2002).

El programa *Interactive Physics* constituye un micromundo que simula el movimiento de objetos sometidos a las leyes de la mecánica newtoniana. El usuario define las características ambientales del micromundo (gravedad, rozamiento, campos de fuerza, etc.) así como el número y las propiedades de los objetos (posición y velocidad iniciales, masa, tamaño, densidad, carga eléctrica, etc). Estos objetos pueden ser de diversa naturaleza: cuerpo de forma circular, rectangular o irregular; muelle; hilo; amortiguador; motor; sistema de poleas, etc.

El usuario puede visualizar gráfica o numéricamente los valores de las propiedades de los objetos, así como modificarlos mediante los correspondientes elementos de control.

Los distintos programas de simulación creados requieren ser ejecutados en el entorno de *Interactive Physics*. La simulación puede ser detenida en cualquier momento, avanzar o retroceder en el tiempo paso a paso e incluso, ser llevada a un instante determinado. Sin embargo, estos simuladores presentan el inconveniente, desde una perspectiva didáctica, de que no registran la actividad del alumno ni pueden ofrecerle ayuda sensible al contexto para la investigación.

Los fenómenos simulados en el entorno *Interactive Physics* son: el movimiento vertical de cuerpos, el movimiento en un plano inclinado, el péndulo simple, los movimientos horizontal y parabólico, así como la composición de movimientos.

El estudiante puede modificar las variables ambientales de gravedad y rozamiento con el aire, así como diversas variables de los cuerpos como: la masa, la velocidad inicial, la elasticidad, la longitud, el coeficiente de rozamiento estático y cinético, etc.

El simulador visualiza las gráficas en tiempo real de distintas magnitudes del móvil frente al tiempo, como: la posición, la velocidad, la aceleración, la energía cinética y la potencial gravitatoria.

Con objeto de evaluar el aprendizaje adquirido por los 25 estudiantes de primer curso de bachillerato participantes en la experiencia, se seleccionan las siguientes variables:

- *Conocimiento conceptual*: obtenido a partir del cuestionario sobre conceptos de mecánica newtoniana diseñado por Sierra (2003).
- *Actitud hacia la ciencia*: obtenida a partir de un test de escala tipo Likert elaborado y validado por Penichet y Mato (1999).
- *Conocimiento de informática*: obtenido a partir de un test elaborado por Sierra (2003) para evaluar el nivel de conocimiento del alumnado sobre distintos programas informáticos.
- *Nivel de razonamiento lógico*: obtenido a partir del test de razonamiento lógico elaborado y validado por Acevedo y Oliva (1995).
- *Rendimiento académico*: obtenido de las calificaciones en la asignatura de Física y Química.

Inicialmente los alumnos se familiarizan con los simuladores y cumplimentan los pre-tests sobre conceptos y actitudes científicas, así como los tests de conocimientos informáticos y de razonamiento lógico. El profesor distribuye un programa-guía de actividades de investigación específicas para cada simulador, que los estudiantes resuelven trabajando en parejas durante varias sesiones. Cada alumno elabora un informe de cada investigación, registrando sus hipótesis y la estrategia experimental de contrastación antes de experimentar con el simulador.

Al finalizar cada actividad, el alumno incluye las conclusiones y la solución del problema en el informe de investigación. Las últimas sesiones son dedicadas a cumplimentar los post-tests sobre conceptos y actitudes.

La realización de trabajos de investigación por los estudiantes con apoyo de simuladores por ordenador continúa durante el siguiente curso académico en el mismo instituto. En esta ocasión el grupo experimental está integrado por 19 alumnos de primer curso de bachillerato y el entorno de simulación es *Mobile*, desarrollado por Sierra (2003) para superar las limitaciones didácticas detectadas en *Interactive Physics*.

El diseño experimental de esta segunda fase de la investigación educativa coincide con el aplicado en la fase inicial.

CONCLUSIONES

Cuando los estudiantes se inician en la realización de trabajos de investigación y experimentan con el simulador tienden en ocasiones a modificar variables del fenómeno que no son relevantes para contrastar sus hipótesis. Por tanto, los entornos informáticos de simulación más eficaces desde el punto de vista didáctico son los que implementan una diversidad suficiente de modelos físicos, con distinto nivel de complejidad, como sucede en el programa *Mobile*. Así, cada modelo físico implementado se asocia con una determinada pantalla informativa para el estudiante, de manera que la secuencia de tareas propuestas requiere que el alumno experimente con distintos modelos de dificultad progresiva.

La muestra estudiada permite afirmar que los estudiantes experimentando con el programa *Mobile* mejoran su conocimiento de los conceptos de mecánica newtoniana significativamente más que cuando trabajan con el software comercial *Interactive Physics*.

Por otra parte, algunos alumnos reconocen ser incapaces de explicar ciertas observaciones efectuadas en la pantalla del ordenador que refutan sus hipótesis iniciales acerca del fenómeno investigado. En estas situaciones, los simuladores didácticos más eficaces ofrecen al alumno distintos niveles de ayuda específica para cada trabajo de investigación que se aborde.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, J.A. y OLIVA, J.M. (1995). Validación y aplicaciones de un test de razonamiento lógico. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 48(3), 339-351.
- BEAUFILS, D. (2000). Les logiciels de simulation comme supports de registres de representation pour les apprentissages en physique. *Journées Internationales d'Orsay sur les Sciences Cognitives*.
- GEBAN, O., ASKAR, P. y OZKAN, I. (1992). Effects of computer simulations and problem solving approaches on high school students. *Journal of Educational Research*, 86 (1), 5-10.
- GORSKY, P. y FINEGOLD, M. (1992). Using computer simulations to restructure student's conceptions of force. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 11, 163-178.
- GRAYSON, D. J., and MCDERMOTT, L. C. (1996). Use of the computer for research on student thinking in physics. *American Journal of Physics* 64, 557-565.
- Interactive Physics. (2000). *User's Manual*. MSC.Software. San Mateo: California.
- JIMOYIANNIS, A. y KOMIS, V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on student's understanding of trajectory motion. *Computers and Education*, 36, 183-204.
- LEWIS, E.L., STERN, J.L. y LINN, M.C. (1993). The effect of computer simulations on introductory thermodynamics understanding. *Educational Technology*, January, 45-58.
- NJOO, M. y DE JONG, T. (1991). Support for learning with computer simulations: Giving hints, supporting learning processes and providing hypotheses. *Annual Convention of the American Educational Research Association*. Chicago (USA) 3-7 abril.
- NJOO, M. y DE JONG, T. (1993). Exploratory Learning with a computer simulation for control theory: Learning processes and instructional support. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (8), 821-844.
- PENICHER, A. y MATO, M.C. (1999). Las actitudes del alumnado de secundaria hacia las ciencias experimentales. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 22, Octubre, 9-16.
- PERALES, F.J., SIERRA, J.L. y VÍLCHEZ, J.M. (2002). ¿Innovar, investigar? ¿Qué hacemos en didáctica de las ciencias? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 34, Octubre, 71-81.
- REZAEI, A.R. y KATZ, L. (2002). Using computer assisted instruction to compare the inventive model and the radical constructivist approach to teaching physics. *Journal of Science Education and Technology*, 11(4), 367-380.
- RIVERS, R.H. y VOCKELL, E. (1987) Computer simulations to stimulate scientific problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(5), 403-416.
- RONEN, M, LANGLEY, D y GANIEL, U. (1991). Integrating computer simulations into high school physics teaching. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching* 11(3/4), 319-329.
- SIERRA, J.L. (2000). Informática y enseñanza de las ciencias. En Perales, F.J. y Cañal, P. (Dirs.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.
- 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.
- SIERRA, J.L. y PERALES, F.J. (1999). Validation à petite échelle d'un environnement d'apprentissage par découverte fondé sur la simulation de phénomènes physiques, dans l'enseignement secondaire. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, vol. 93, n° 814, 809-821.
- VALENTE, M. y NETO, A.J. (1992). El ordenador y su contribución a la superación de las dificultades del aprendizaje en mecánica. *Enseñanza de las Ciencias* 10 (1), 80-85.
- WHITE, B.Y. (1998) Computer Microworlds and Scientific Inquiry: An alternative approach to Science Education. En Fraser, B.J. y Tobin, K.G., *International Handbook of Science Education*, 295-315. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.