

Entornos constructivistas de aprendizaje basados en simulaciones informáticas

Agustín García Barneto¹ y Mario Rafael Gil Martín²

¹Departamento Ingeniería Química, Química Física y Química Orgánica Universidad de Huelva. Huelva. Email: agustin.garcia@diq.uhu.es

²IES "Guadiana" Ayamonte. Huelva. Email: mariogilxxi@terra.es

Resumen: El paradigma educativo de la nueva sociedad de la información se caracterizará por modelos constructivistas de aprendizaje y entornos enriquecidos tecnológicamente. En un entorno constructivista de aprendizaje basado en *applets* Java, los estudiantes pueden resolver problemas apoyados por el ordenador. Las simulaciones interactivas contribuyen al proceso de enseñanza/aprendizaje de la física de diferentes maneras: los estudiantes visualizan fenómenos naturales, se modifica la secuencia habitual de enseñanza y se evitan dificultades con las matemáticas.

Palabras clave: entorno de aprendizaje, constructivismo, simulación interactiva.

Title: Constructivist learning environments based on computerized simulations

Abstract: The educative paradigm of the new information society will be characterized by constructivistic models of learning and enriched technologically environments. In the constructivistic environments of learning based on Java *applets*, students can solve problems supported by the computer. Interactive simulations aid the teaching and learning of Physics in different ways: students visualize natural phenomena, change the habitual sequences of learning and avoid difficulties with mathematics.

Keywords: Learning environment, constructivism, interactive simulation.

Introducción

En febrero de 2004, la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) hacía público el informe "Completar las bases para una educación a lo largo de toda la vida", constatando que en el conjunto de los países de la organización la utilización de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (NTIC) en la enseñanza secundaria se puede calificar como decepcionante. Las importantes inversiones realizadas en equipamiento durante los últimos 20 años, señala el informe, han permitido que las NTIC entren en la casi totalidad de los establecimientos escolares de los países más avanzados de la OCDE, pero la utilización cotidiana que se hace de ellos es decepcionante.

Aunque no han faltado estudios sobre las causas de esas dificultades (Aviram, 2002; Cabero et al., 2003), puede afirmarse que, en general, el

proceso de incorporación de las NTIC al ámbito educativo y, en particular, a la enseñanza de las ciencias ha sido poco estudiado. De una parte han sido pocas las investigaciones que han analizado la efectividad del uso de ordenadores en la promoción del conocimiento y en la generación de nuevos tipos de aprendizaje (Brandsford et al., 1999; Brandsford et al., 2000) y, de otra, la rapidez en los cambios tecnológicos que daban soporte a las iniciativas docentes, explica una época de desconcierto que parece estar asentándose en una series de tecnologías prometedoras basadas fundamentalmente en máquinas virtuales, metalenguajes y estándares abiertos (Christian, 2000).

Los *applets* son pequeñas aplicaciones escritas en lenguaje Java, diseñadas para ser incrustadas en archivos HTML (página web), que son ejecutadas por el navegador de nuestro equipo informático cuando visitamos una página que los contiene. Desde que fueron creados en 1995 por Sun Microsystem han encontrado muchas utilidades, entre ellas la simulación de fenómenos naturales de interés en la formación científica de los alumnos. Según el grado de interactividad que manifiestan, pueden distinguirse dos tipos de *applets*: los que sólo permiten la visualización del fenómeno y los que, además, permiten obtener datos de la simulación (Bohigas et al., 2003). Estas dos, animación e interacción, son las características principales de los *applets*.

En Internet disponemos de una amplia oferta de *applets* que simulan la mayoría de fenómenos físicos que estudiamos en las aulas. La incorporación de esta tecnología a la enseñanza resulta así fácil y, en consecuencia, adquieren importancia los aspectos didácticos relacionados con ella; de una parte para hacer explícito el modelo pedagógico subyacente a su uso y de otra para formular innovaciones coherentes con las investigaciones en didáctica de las ciencias.

En el presente artículo haremos un repaso a la oferta de *applets* disponibles en Internet, deteniéndonos a analizar el contexto didáctico de algunas de ellas. Seguidamente haremos una propuesta de uso de las simulaciones orientada a la resolución de problemas mediante investigaciones dirigidas: los entornos constructivistas de aprendizaje (Jonassen, 2000) basados en simulaciones informáticas programadas en lenguaje Java (*applets*).

***Applets* en Internet**

En Internet podemos encontrar una amplia y variada oferta de *applets*. A continuación citamos algunas webs que contienen *applets* susceptibles de ser empleados en la enseñanza de la física:

- Math and Physics Applets
(<http://www.falstad.com/mathphysics.html>)
- Física 2000
(<http://www.maloka.org/f2000/cover.html>)
- The applets collection
(<http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/applist/applets.htm>)
- Physlets

(<http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>)

- Java Applets on Physics

(<http://www.walter-fendt.de/ph11e/>)

- General Physics Java Applets

(<http://surendranath.tripod.com/Applets.html>)

- Educational modules & simulations

(<http://www.phy.syr.edu/courses/modsim.html>)

- NTNU Java (Virtual physics laboratory

(<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/>)

(<http://www.phys.hawaii.edu/~teb/java/ntnujava/>)

- Learn Physics

(<http://www.ngsir.netfirms.com/englishVersion.htm>)

- Physics applets

(<http://www.cco.caltech.edu/~phys1/java.html>)

- Quantum physics online

(<http://www.quantumphysics.polytechnique.fr/en/>)

- Changyeon's Homepage

(<http://ist-socrates.berkeley.edu/~cywon/>)

- Java applets

(<http://www.scar.utoronto.ca/~pat/fun/applets.html>)

- Physics apples

(<http://jersey.uoregon.edu/vlab/>)

- Open applets

(<http://www.opensourcephysics.org/apps/index.html>)

- Física con ordenador

(<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm>)

- Curso de acústica

(<http://www.ehu.es/acustica/>)

- Easy Java Simulations

(http://fem.um.es/Ejs/Ejs_es/index.html)

Estas webs, y otras muchas que pueden encontrarse en Internet, pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- Colecciones de *applets*

- Unidades didácticas interactivas (UDIs)

Las primeras son relaciones de *applets* en las que el autor simplemente indica en cada caso el funcionamiento de la aplicación, no existiendo propuesta didáctica alguna que oriente su uso. Esto no quiere decir que sean simulaciones mediocres, en algunos casos todo lo contrario (Math and Physics Applets), sino que el diseñador se centra en el aspecto técnico del tema y deja al usuario las decisiones educativas. Ejemplo de éstas pueden citarse algunos "clásicos" como Physlets de Davidson College, Java Applets on Physics de Walter Fendt o NTNU Java de Fu-Kwun Hwang.

Las segundas (UDIs) integran las simulaciones en un contexto educativo que da continuidad y coherencia al conjunto de la obra. Entre ellas podemos señalar Física 2000 de la universidad de Colorado (con versión en español), Física con Ordenador y Curso de Acústica, ambas de la universidad del País Vasco.

Usos de las simulaciones en la enseñanza de la física

Entre las características de los *applets*, Christian (2001) destaca el hecho de ser pedagógicamente neutros, es decir, de poder ser usados con independencia del estilo metodológico del profesor. Esta circunstancia permitiría que, por ejemplo, sin alterar la actividad docente habitual, fueran empleados a modo de práctica virtual una vez hubieran sido tratados los contenidos. En este sentido hay que tener en cuenta que las colecciones de *applets* antes citadas proporcionan múltiples oportunidades para ejemplificar los más diversos fenómenos físicos: desde la mecánica clásica a la relativista o desde el electromagnetismo a la cuántica.

Aunque en determinados contextos docentes tal planteamiento educativo pudiera tener interés – no olvidemos que incorpora elementos multimedia interactivos a lo que habitualmente es un discurso oral-, creemos que es mejor usarlos como parte de estrategias docentes más elaboradas y eficaces. Por ello nos detendremos a analizar con algún detalle algunas propuestas didácticas diseñadas en tal sentido y que podemos encontrar en Internet.

Physlets

Los *applets* del sitio Physlets son muy conocidos, incluso hay quien contrayendo los términos *physics* y *applets* denomina *physlets* a las simulaciones que tratan de fenómenos físicos (Christian, 2001). Aunque la propuesta que encontramos en la web gira en torno a la descripción de los *applets* individuales, las adaptaciones realizadas a diversas situaciones articulan una propuesta curricular coherente basada en la investigación de los alumnos.

El aspecto más destacable de los *physlets* es su flexibilidad, es decir, la posibilidad de ser adaptados mediante sentencias JavaScript insertas en el archivo HTML. En general el control de las simulaciones (por ejemplo los botones de empezar, parar, etc.) está incluido en el archivo *class* compilado para la máquina virtual correspondiente y no tenemos acceso a él. En el caso de los *physlets* es diferente. Las condiciones de las simulaciones pueden ser modificadas (por ejemplo número de partículas, posiciones iniciales, etc.) e incluso pueden conectarse unos *applets* con otros para realizar tareas como el tratamiento y la representación de datos (Bohigas et al., 2003). Esta característica permite que un número pequeño de *applets* pueda convertirse en un número ilimitado de simulaciones.

El sitio web de Physlets es prolijo en orientaciones didácticas. Según sus diseñadores los *physlets* pueden ser usados como elementos en cualquier currículo y con cualquier estilo de enseñanza (por ejemplo, en contextos tradicionales para demostraciones puntuales o tareas para casa), sin

embargo, señalan que son más apropiados para métodos interactivos de enseñanza (Christian et al., 2003).

a) Uso de *physlets* en la realización de problemas abiertos.

La eliminación de datos numéricos en los enunciados de los problemas ha sido reconocida como una iniciativa que fomenta el tratamiento cualitativo de la situación planteada y, en consecuencia, evita métodos mecánicos de resolución apoyados en las ecuaciones aprendidas en clase (Gil et al., 1991). En esta misma línea los diseñadores de *physlets* proponen usar las simulaciones, desprovistas de datos, para que los alumnos puedan plantearse los fenómenos cualitativamente y procedan a un análisis profundo antes de intentar resolverlos. Establecidas las hipótesis oportunas, los alumnos tomarían medidas con el *applet*, analizarían los datos y validarían o rechazarían sus propuestas iniciales. Diversos autores han dado a conocer experiencias en este sentido (Dancy et al., 2002; Tang y Titus, 2002; Christian, 2000).

El núcleo de esta estrategia se apoya en la comprensión conceptual previa de los problemas (Christian, 2001). Los problemas basados en *physlets* permiten que los alumnos antepongan el razonamiento y la toma de medidas a la aplicación mecánica de principios o ecuaciones (Tang y Titus, 2002) y, además, la interactividad introducida durante el proceso influye en la habilidad del estudiante para crear, provee de oportunidades de aprendizaje y pone de manifiesto errores conceptuales (Dancy et al., 2002).

b) Uso de *physlets* en el aprendizaje de conceptos (unidades didácticas)

Según Christian (2001) los *physlets* pueden ser utilizados para crear material interactivo diseñado en torno a las necesidades conceptuales de los alumnos. Por ejemplo, Bonham et al. (1999) hacen una propuesta didáctica para la enseñanza de la electrostática apoyada en el uso de seis simulaciones *physlets*, que, según los autores, inciden sobre los conceptos básicos que estructuran el conocimiento en este campo: definición operacional de carga, dependencia del inverso del cuadrado en la ley de Coulomb, principio de superposición, representación de las líneas de campo eléctrico y el potencial, concepto de flujo eléctrico y relación entre potencial eléctrico y conservación de la energía. Dancy et al. (2002) hacen un planteamiento similar referido a la óptica.

Curso de Física con ordenador

El Curso de Física con Ordenador desarrolla los contenidos habituales de un curso universitario de física clásica con el deseo de "complementar la enseñanza tradicional". En su apartado didáctico, se cita el interés del autor (Ángel Franco García) por diversificar el uso de las simulaciones, empleándolas en la explicación de conceptos, la resolución interactiva de problemas, la realización virtual de experiencias o la promoción del estudio independiente.

Los *applets* del curso son de gran calidad y, según su autor, han sido elegidos por su capacidad para ilustrar leyes y principios fundamentales, por la posibilidad de ser enunciados de forma concisa y de visualizarse

fácilmente y, en definitiva, por motivar a los estudiantes y estimular la discusión entre ellos. Como ejemplos de su utilización propone:

- a) que el profesor proyecte el *applet* en una pantalla y comience una discusión con los alumnos proponiendo algún tipo de acción sobre la simulación
- b) que el alumnos resuelvan problemas planteados en los *applets*
- c) que el profesor simule la experiencia de laboratorio antes de hacer la experiencia real
- d) que los alumnos profundicen de forma autónoma en los aspectos tratados en el aula.

El curso presenta el esquema de un libro electrónico. Los apartados se construyen sobre una prolija explicación, matemática y física, que incorpora, normalmente al final, una simulación a modo de ejemplo. A diferencia de los *physlets*, los *applets* de este curso no pueden editarse con JavaScript, sin embargo, esta falta de flexibilidad se corrige con la gran oferta de simulaciones.

En ninguno de los dos casos comentados se incorpora la evaluación como parte de la propuesta didáctica.

Orientaciones para el uso de simulaciones en un contexto educativo

La incorporación de simulaciones informáticas a la enseñanza de la física debe entenderse como un problema tecnológico y didáctico. Si bien es verdad que se necesitan equipos y aplicaciones informáticas sofisticadas, también lo es que la ausencia de estrategias adecuadas para hacer útil esa tecnología en el aprendizaje de conceptos y en el desarrollo de habilidades propias del trabajo científico, puede dificultar su consolidación futura en las aulas. Por ello, tienen interés las investigaciones orientadas a poner de manifiesto las condiciones óptimas en que debe desarrollarse una enseñanza apoyada en el uso de simulaciones informáticas.

El diseño de una instrucción educativa de esas características habría de tener en cuenta aportaciones de diferentes campos: teorías generales del aprendizaje, teorías del diseño de la instrucción, investigaciones en la didáctica de las ciencias, investigaciones en entornos educativos multimedia, investigaciones sobre espacios colaborativos de aprendizaje, etc. De su análisis pueden deducirse una serie de directrices que, desde nuestro punto de vista, han de orientar el diseño de entornos de aprendizaje basados en simulaciones informáticas:

1.- Las simulaciones deben ser usadas para promover un aprendizaje basado en la investigación de los alumnos

Si bien el uso de los *applets* no exige cambio metodológico alguno en el profesor (Bohigas et al., 2003), la mayoría de autores indican que las simulaciones han de ser utilizadas en un contexto investigativo (Christian, 2001). Sin embargo, aunque exista este acuerdo de fondo hay diferentes formas de entenderlo en la práctica, siendo importante precisar el tipo de tarea que resuelve el alumno con el *applet*, el uso que hace de la tecnología, el papel del profesor, importancia del *feedback*, etc.

Otero et al. (2003) publican el resultado de una investigación que aborda la relación entre las imágenes externas y la construcción del conocimiento en la enseñanza de la física. En ese trabajo comparan dos grupos de alumnos, uno de control que siguió un planteamiento tradicional, y otro experimental que pudo ver las animaciones y los *applets* que proyectaba el profesor sobre una pantalla. Los alumnos de este último hacían predicciones sobre los fenómenos físicos que estudiaban (movimiento oscilatorio) comprobándolas después con ayuda del *applet* correspondiente. Los resultados del estudio indican que ambos grupos manifiestan el mismo rendimiento, poniendo en evidencia la idea de sentido común que asigna a la imagen externa beneficios "per se".

2.- En un proceso de enseñanza/aprendizaje apoyado en simulaciones los alumnos tienen que jugar un papel activo

Christian (2001), señala lo inadecuado de utilizar los *applets* únicamente como recurso para visualizar fenómenos, indicando que para obtener el mayor beneficio se requiere que los estudiantes interactúen con la simulación recogiendo y analizando datos. Según Zamarro et al. (1998) el *applet* ha de acompañarse de cierta información dosificada de tal manera que sea suficiente para impulsar el proceso investigador (en caso contrario el alumno al no entender para qué sirve el *applet* se limitaría a jugar con él hasta aburrirse) pero no tan detallada como para que el alumno la siga a modo de receta coartando cualquier iniciativa.

Sin embargo, todavía no está muy claro de qué forma la actividad de los alumnos con las simulaciones afecta a los aprendizajes. Lee et al. (2004) han valorado la eficacia de diferentes maneras de investigar con las simulaciones, en concreto, se han planteado determinar si la posibilidad de modificar los parámetros de la simulación tiene como consecuencia un desarrollo de la intuición física y una mejora en la habilidad para resolver problemas. Para ello han investigado dos grupos de alumnos, uno de ellos que tenía la posibilidad de variar los parámetros de la simulación y se les animaba a hacer predicciones, extraer conclusiones y calcular cantidades relevantes para distintos valores de los parámetros de entrada, y otro al que se le proporcionaban las simulaciones con determinados valores iniciales y una serie de cálculos relevantes relacionados con ellas. Ambos grupos fueron evaluados con las mismas herramientas obteniendo mejores resultados el segundo de ellos, de manera que, según esos autores, en este caso, el uso de habilidades habitualmente asociadas a la investigación científica no ha tenido como consecuencia una mejora en la intuición física o la habilidad para resolver problemas.

En cualquier caso hay que tener en cuenta que la eficacia de las simulaciones en la producción de aprendizajes depende de otros factores además de la actividad de los alumnos. Entre estos se han citado: que tenga que ver con dificultades conocidas en los estudiantes, que sea apropiada a la tarea a desarrollar o que los estudiantes sean capaces de interpretar las señales dadas por el *applet* (Tang y Titus, 2002; Dancy et al., 2002).

3.- Las actividad investigadora de los alumnos se potencia en un ambiente colaborativo

La informática educativa ha ido evolucionando desde los planteamientos instructivistas de la enseñanza asistida por ordenador (EAO) hasta las actuales propuestas socio-constructivistas del aprendizaje colaborativo mediado por ordenador (CSCL) (Koschman, 1996). Por otra parte, las propuestas educativas basadas en el constructivismo proponen un acercamiento a la cultura de la investigación científica, incluyendo en ello la adopción de patrones colaborativos en las tareas desarrolladas. La colaboración entre estudiantes por medio de redes de ordenadores, se perfila como una herramienta eficaz para que los estudiantes desarrollen las habilidades necesarias en la nueva sociedad de la información (Lakkala et al., 2005). Su interés explica que entre los años 2001 y 2003 se haya llevado a cabo el proyecto ITCOLE para evaluar la implementación de entornos de aprendizaje colaborativo en cuatro países europeos (Finlandia, Holanda, Italia y Grecia) (Rubens et al., 2005)

4.- El proceso investigador de los alumnos ha de estar orientado mediante el adecuado *feedback*

Cuando el alumno se encuentra sólo ante la simulación informática tiene pocas posibilidades de aprender. El intenso carácter interactivo de las simulaciones puede provocar algunas dificultades en el aprendizaje explícito de los principios físicos modelados. Según la teoría de codificación dual (Clark y Paivio, 1991; Paivio, 1990), el aprendizaje será más efectivo cuando sea consecuencia del procesamiento simultáneo de informaciones codificadas por el canal visual y el canal verbal; sin embargo, las simulaciones informáticas concentran todos los recursos en el canal visual, dejando sin tiempo al usuario para que reflexione sobre los principios que modela la simulación. Ante este hecho se hace necesario que el alumno cuente con una orientación que guíe el procesamiento de información y facilite el aprendizaje explícito. Aunque el mejor suministro de *feedback* procede del profesor, en ocasiones se deja al entorno informático esa tarea. En tal caso los mejores efectos se obtienen cuando se presenta gráficamente y viene acompañado de breves explicaciones multimedia. En estas condiciones los alumnos pueden aprender de forma efectiva conceptos y principios complejos (Rieber et al., 2004)

En este sentido tiene interés el estudio realizado por Pollock et al. (2002) sobre asimilación de información compleja. Apoyándose en la teoría de la carga cognitiva (Chandler y Sweller, 1991), subrayan la necesidad de que el diseño instruccional dirigido a la comprensión de materiales complejos debe procurar la construcción previa de los esquemas necesarios en la mente de los alumnos, siendo necesaria la estructuración de la información (mediante *feedback*) para reducir la carga de la memoria de trabajo y facilitar su tránsito a la memoria a largo plazo (aprendizaje).

5.- El diseño de las actividades basadas en simulaciones debe tener en cuenta su carácter multimedia

Mayer y Moreno (2002) han desarrollado una teoría cognitiva del aprendizaje multimedia apoyada en las teorías de codificación dual, carga

cognitiva y aprendizaje constructivista. Según esos autores no todas las representaciones multimedia son igualmente efectivas en la producción de aprendizajes significativos. Los mensajes multimedia que minimizan la carga cognitiva y aumentan las posibilidades de aprender cumplen con cuatro principios:

- a) Principio de contigüidad: se aprende mejor cuando animación y narración se presentan al mismo tiempo.
- b) Principio de coherencia: se aprende mejor cuando no hay que procesar imágenes o palabras extrañas en la memoria de trabajo
- c) Principio de modalidad: se aprende mejor cuando la palabra se presenta en forma de narración que como texto escrito
- d) Principio de redundancia: se dificulta el aprendizaje cuando se presentan al mismo tiempo narración y texto escrito

Estas aportaciones son consecuentes con los estudios comentados acerca del suministro de *feedback* en el aprendizaje de materiales complejos, apoyando la narración multimedia como vehículo para estructurar la información que el alumno capta visualmente de las simulaciones.

6.- El uso de las simulaciones debe ser coherente con un planteamiento constructivista del proceso de enseñanza/aprendizaje

Desde una perspectiva constructivista el aprendizaje viene determinado por complejas relaciones entre los conocimientos previos de los alumnos, el contexto social y el problema que ha de ser resuelto. El proceso instructivo, por tanto, se concreta en proveer a los alumnos de una situación colaborativa en la que tengan los medios y las oportunidades de construir nuevos aprendizajes. Las características del diseño de la instrucción constructivista ha sido señalada por diversos autores (Brooks y Brooks, 1993; Honebein et al., 1993) y en todos los casos se señala como básicos dos aspectos: un buen problema y colaboración (Tam, 2000). Gil y al (1999) proponen una estrategia constructivista orientada a promover la investigación (dirigida) de los alumnos que supera la habitual distinción entre teoría, práctica y problemas:

- Partir de situaciones problemáticas capaces de provocar interés
- Analizar cualitativamente la situación y proponer un plan para abordarla
- Usar estrategias coherentes con el trabajo científico para resolver el problema: plantear hipótesis, elaborar estrategias, analizar resultados y cotejarlos con las previsiones, ...
- Utilizar reiteradamente los nuevos conocimientos en diversas situaciones al objeto de consolidarlos y crear cuerpos coherentes con ellos.

La incorporación de simulaciones informáticas en este contexto educativo puede facilitar un aprendizaje basado en problemas (Barrows, 1986) en el que la interacción con el medio, el conflicto cognitivo y la negociación entre alumnos sean una realidad (Savery y Duffy, 1996).

7.- El tratamiento de los problemas ha de ser global.

Los problemas reales son complejos y precisamente en esa complejidad residen por igual dificultad y atractivo. Habitualmente en el tratamiento de este tipo de problemas se procede al fraccionamiento de tareas; sin embargo, desde una perspectiva constructivista tendría más sentido su tratamiento global. Para ello, según la teoría de la elaboración (Reigeluth, 2000 b), bastaría con aplicar la secuenciación por simplificación de tareas, abordando inicialmente el problema global más simple y terminando con el más complejo. Las simulaciones basadas en *applets* permiten modelar fenómenos con diferentes "niveles de realismo", haciendo posible con ello aproximaciones globales más o menos complejas a los fenómenos naturales.

En muchas ocasiones la dificultad para comprender un fenómeno físico se asocia a la complejidad matemática que le rodea. Sin embargo habría que acordar que son dos dimensiones (comprensión física y explicación matemática) que no tienen porqué coincidir. El uso de las simulaciones supone un valor añadido a las tareas educativas dirigidas a la representación de conceptos abstractos o al control de la escala de tiempos, permitiendo invertir el proceso habitual de enseñanza (que comienza con el tratamiento matemático) al ocultar el modelo matemático subyacente y mostrar el fenómeno a través de una animación gráfica o representación tridimensional (Zamarro et al., 1998).

8.- Las simulaciones informáticas basadas en *applets* permiten construir entornos de aprendizaje constructivista

Jonassen (2000), propone usar lo que él denomina entornos de aprendizaje constructivista (EAC) para diseñar la instrucción educativa. En estos entornos el proceso educativo se articula en torno al tratamiento de cuestiones, proyectos, problemas o ejemplos de interés para los alumnos que, debido a su insuficiente estructuración, generan un proceso investigador en el que las aplicaciones informáticas son utilizadas de formas diversas (acceso a información, herramientas cognitivas y de comunicación, etc.). El núcleo del entorno está orientado al tratamiento del problema a tres niveles: contextualización, representación y manipulación. El contexto del problema describe el clima físico, sociocultural,... y define la comunidad de intereses que lo rodea, la representación relata los acontecimientos que han conducido al problema y, por último, la simulación del problema permite que los alumnos contrasten sus previsiones a través de algún modelo causal elaborado al efecto. En todo este proceso las aplicaciones informáticas suministran ejemplos relacionados, actúan como herramientas cognitivas (visualización, bases de datos, información, etc.) y de colaboración (haciendo posible la comunicación entre alumnos y profesor), etc.

En estos entornos se unen planteamientos socioconstructivistas y de cognición distribuida con la potencia de los ambientes educativos enriquecidos tecnológicamente. Aunque no fueron diseñados expresamente para la enseñanza de las ciencias en un contexto académico, podrían ser adaptados a ella, manteniendo la estructura global y el papel dado a la tecnología, incorporando *applets* Java para representar y manipular los

problemas. Un conjunto relativamente pequeño de simulaciones puede ser suficiente para abordar unidades didácticas a partir de situaciones problemáticas mediante investigaciones dirigidas.

La plataforma Moodle (*Entorno de aprendizaje modular y dinámico orientado a objetos*) (<http://moodle.org/>) puede ser un repositorio de entornos de aprendizajes constructivistas, ya que está basado en sus principios pedagógicos y entre otras ventajas tiene un diseño modular, se distribuye gratuitamente como Software Libre, propicia el aprendizaje activo e incluye herramientas de colaboración y evaluación.

Desde nuestro punto de vista, la figura 1 resume las principales implicaciones que se derivan de un proceso de enseñanza/aprendizaje basado en simulaciones informáticas.



Figura 1.- Implicaciones de un aprendizaje basado en simulaciones.

Entorno constructivista basado en *applets* Java para el aprendizaje del movimiento armónico simple

Se ha citado la importancia de las secuencias elaborativas (Reigeluth, 2000 b) en la construcción de los esquemas cognitivos asociados al aprendizaje de materiales complejos como los tratados en un curso universitario de Física. El tratamiento integral de problemas auténticos con diferentes niveles de complejidad, permite abordar los principios más generales e inclusivos en un contexto real, poniendo de manifiesto conexiones y estructuras globales que de otra manera, seccionando tareas, quedan ocultas y deben ser objeto de posteriores reconceptualizaciones. Por otra parte el tratamiento de diferentes niveles de complejidad permite progresar hasta principios más detallados y precisos (y complejos) en un intento por trascender al hecho concreto que se analiza y, en consecuencia, crear teorías.

Por tanto, este planteamiento en espiral permite crear estructuras cognitivas actuando en dos dimensiones: una horizontal, construida en torno a un problema concreto, básicamente operativa, en la que los procedimientos juegan un papel muy importante y en la que la estructura cognitiva del alumno se enriquece con aportaciones procedentes de diferentes campos de conocimiento (actuando de manera coordinada con un mismo objetivo: explicar un hecho concreto), y otra vertical, construida sobre diferentes problemas unidos por un "espíritu de familia", orientada a la generalización y, en consecuencia, a la creación de cuerpos coherentes de conocimiento.

Desde esta perspectiva, en el Departamento de Física Aplicada de la universidad de Huelva se ha iniciado un proyecto dirigido a crear un entorno de aprendizaje constructivista, orientado al tratamiento de los movimientos armónico simple (MAS) y ondulatorio, que se viene usando con los alumnos de la licenciatura de Ciencias Ambientales. En referencia al MAS, ha sido estructurado en tres niveles de complejidad: osciladores libre y amortiguado, oscilador forzado y oscilador acoplado, desarrollados mediante el tratamiento de sendos problemas.

El primer nivel de complejidad debe dar al alumno una visión global del fenómeno. Asimismo, su desarrollo debe poner de manifiesto la complementariedad de las diferentes perspectivas teóricas empleadas y la utilidad de estrategias coherentes con el trabajo científico en el tratamiento de tareas complejas. Por tanto, se ha optado por el análisis conjunto de los osciladores libre y amortiguado, ya que añade realismo a la propuesta y enriquece la modelización sin dificultar en exceso su análisis.

Problema: ¿Cómo se mueve una bola en un cuenco semiesférico?

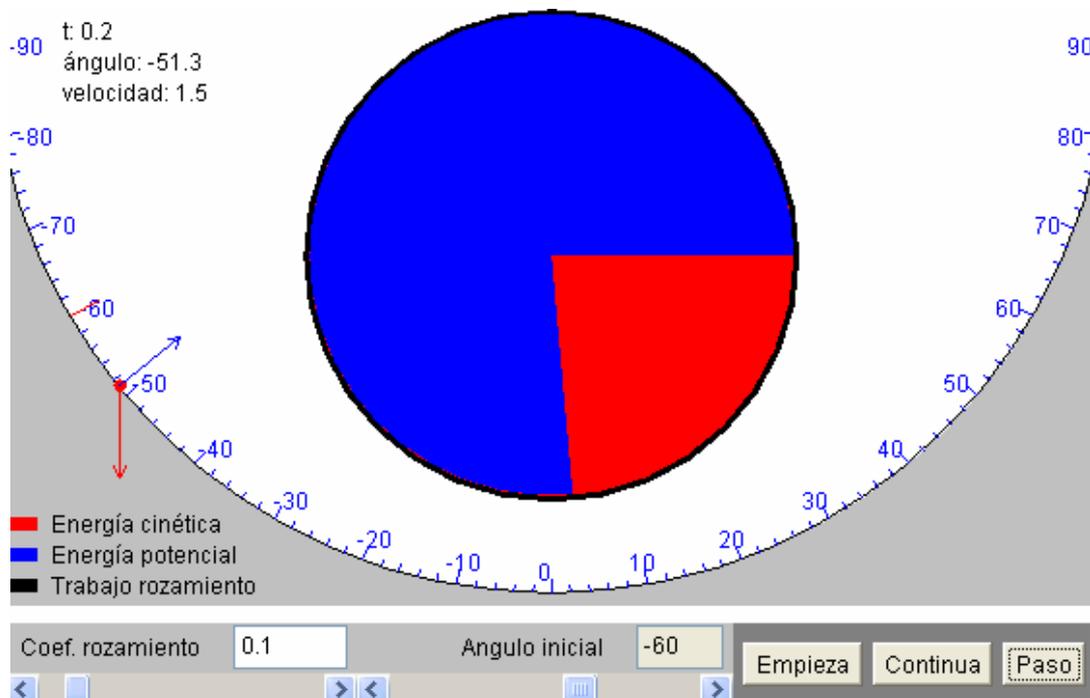


Figura 2.- Imagen de applet Curso Física con Ordenador.

Una vez contextualizado el problema y establecido el objetivo principal de la investigación, los alumnos pasan a su tratamiento en un espacio de manipulación construido en torno a un *applet* del Curso de Física con Ordenador (<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/trabajo/cupula1/cupula1.htm>) que simula el movimiento de un objeto sobre una superficie semicircular cóncava (figura 2).

Con este *applet* los alumnos estudian el periodo del MAS y las evoluciones temporales de la posición y la energía del sistema (con y sin rozamiento), siendo posible establecer su carácter periódico, el cambio sinusoidal de la posición y las evoluciones exponenciales de la amplitud y la energía del sistema por efecto de la fricción. En esta fase los alumnos plantean hipótesis, diseñan experiencias, obtienen datos y analizan resultados. En estas tareas el entorno educativo debe proveer al alumno de tutoriales, de documentación (libros en formato electrónico), de aplicaciones informáticas (hoja de cálculo, representación de funciones, acceso Internet) y de herramientas de colaboración (por ejemplo una bitácora).

Aunque este *applet* pone de manifiesto las características básicas del MAS, no agota el tema, quedando una serie de cuestiones importantes por resolver: factores que tienen influencia en el periodo de otros sistemas armónicos, ampliación del tratamiento cinemático por medio de la relación existente entre el MAS y el movimiento circular uniforme (MCU), tratamiento dinámico del MAS que determine el tipo de fuerza capaz de producirlo y permita obtener la ecuación diferencial de movimiento y, por último, ampliación del análisis energético que alcance a precisar los factores que influyen en la energía total del sistema y la interconversión de las energías cinética y potencial elástica (Figura 3).

Todos estos problemas pueden modelarse con *applets*. En nuestro caso, entre otros, hemos utilizado los siguientes:

- Péndulo de NTNU Java (Fu-Kwun Hwang)
(<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/viewtopic.php?t=27>)
- Muelle oscilante de Applet Java de Física (W. Fendt)
(http://www.walter-fendt.de/ph11s/springpendulum_s.htm)
- Oscilaciones libres de Curso Física con Ordenador (A. Franco)
(<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/oscilaciones/libres/libres.htm#Actividades>)
- Oscilador muelle-masa de Learn Physics using Java (C. K. Ng)
(<http://www.ngsir.netfirms.com/englishhtm/SpringSHM.htm>)
- Medida de la constante elástica de un muelle de Curso de Física con Ordenador (A. Franco)
(<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/trabajo/muelle/muelle.htm>)
- Movimiento armónico simple de Curso de Física con Ordenador (A. Franco)
(<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/oscilaciones/mas/mas.htm>)
- Energía asociada al movimiento armónico simple de Physlet
(<http://fem.um.es/Fislets/CD/II2Ondas/II13Oscilaciones/default.html>)

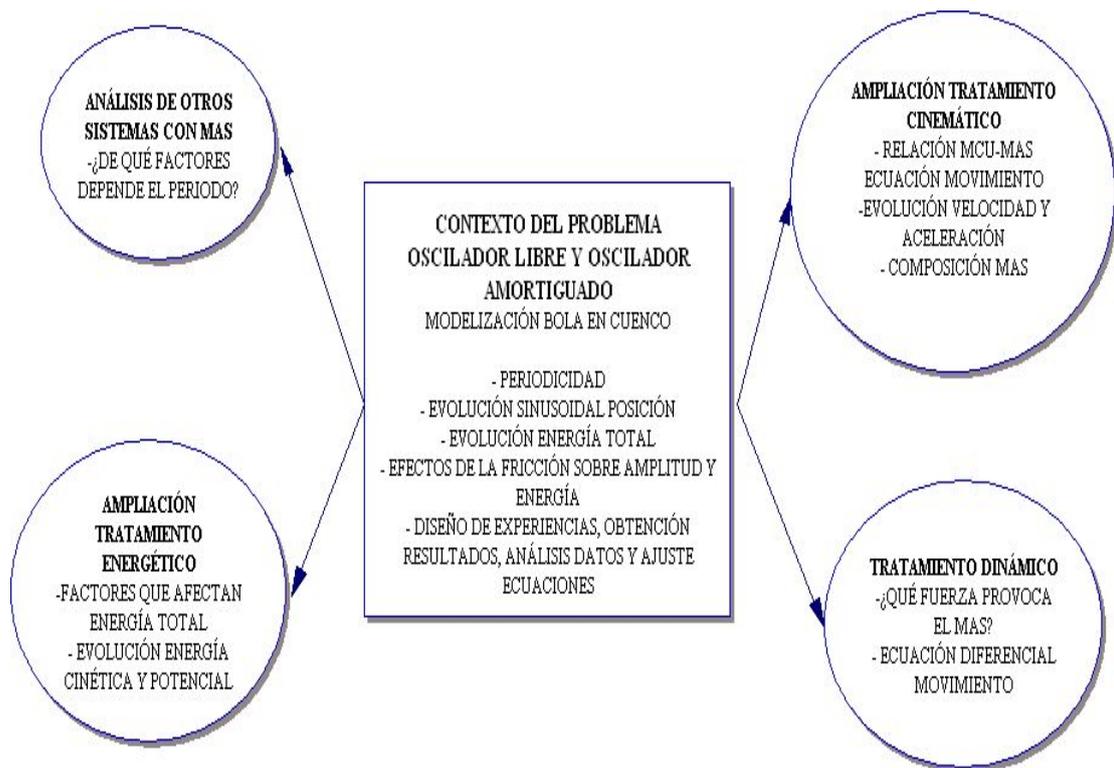


Figura 3.- Estructura del primer nivel de complejidad del problema.

El segundo nivel del entorno trata el oscilador forzado. Éste resulta ser un sistema más complejo que los osciladores libre y amortiguado ya que une a las variables previamente analizadas el efecto de una fuerza periódica que actúa sobre el sistema. En este caso el espacio de manipulación ha sido construido sobre dos *applets* que simulan el comportamiento de un muelle sujeto a un soporte que vibra periódicamente con cierta amplitud:

- Oscilación forzada de Applets Java de Física (W. Fendt) (Figura 4) (http://www.walter-fendt.de/ph11s/resonance_s.htm)
- Oscilaciones forzadas, el estado transitorio, de Curso de Física con Ordenador (A. Franco) (<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/oscilaciones/transitorio/transitorio.htm>)

Estas simulaciones permiten que los alumnos hagan “descubrimientos” de gran interés en ámbitos físicos complejos sin la necesidad de difíciles tratamientos matemáticos, apoyándose únicamente en la comprensión del fenómeno y en la aplicación de un método de trabajo eficaz. Las investigaciones con estas simulaciones permiten comprobar que el oscilador forzado tiene dos fases en su movimiento (transitoria y estacionaria), que la resonancia se produce cuando la frecuencia de la fuerza periódica coincide con la frecuencia natural del muelle, que las oscilaciones del muelle pueden estar en fase o no con la fuerza periódica según la frecuencia de esta última, que la fricción tiene efecto sobre el tiempo que transcurre hasta que llega la fase estacionaria y la amplitud que en ella se alcanza, etc.

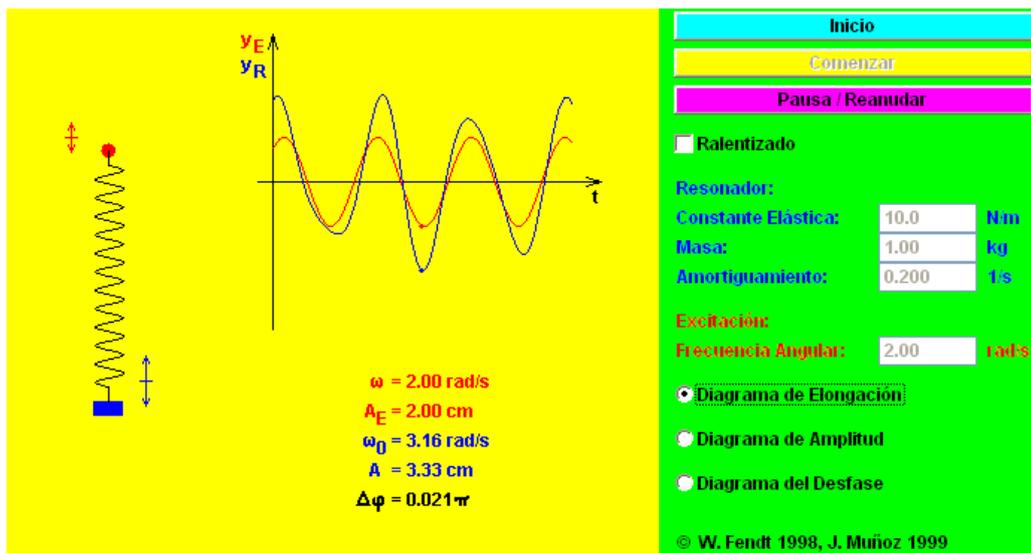


Figura 4.- Imagen *applet* oscilador forzado.

El tercer nivel de complejidad sería el de los osciladores acoplados, paso previo al estudio del movimiento ondulatorio. Su espacio de simulación está construido en torno a los siguientes *applets* del Curso de Física con Ordenador (A. Franco) .

- Dos osciladores acoplados (Figura 5)

(<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/oscilaciones/acoplados/acoplados.html#Actividades>)

- Oscilaciones de un sistema de muelles y partículas

(<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/oscilaciones/modos/modos.html>)

- De las oscilaciones a las ondas

(<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/oscilaciones/perturbacion/propagacion.html>)

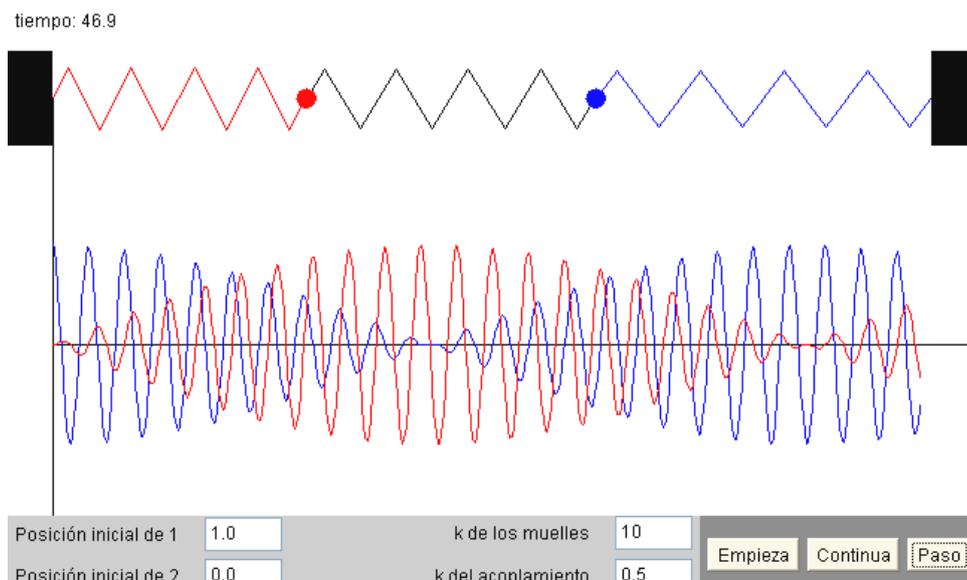


Figura 5.- Imagen de un *applet* con dos osciladores acoplados.

Durante la investigación de los osciladores acoplados surge el concepto de modo de vibración para explicar el movimiento general del sistema, se visualiza la modulación de la amplitud de los osciladores individuales e incluso pueden hacerse medidas que permiten comprobar "experimentalmente" las previsiones teóricas de las ecuaciones matemáticas aplicables, en particular las referidas a los valores de las frecuencias de los modos naturales de vibración y la frecuencia de modulación de la amplitud. Por último, se establece relación entre el número de partículas y el de modos de vibración de los sistemas acoplados y se pone de manifiesto la influencia de las condiciones elásticas del medio en la velocidad de propagación de las perturbaciones (onda mecánica).

Conclusión

Según Reigeluth (2000 a) el paradigma educativo de la emergente sociedad de la información del siglo XXI vendrá caracterizado por la confluencia de modelos constructivistas de aprendizaje y de entornos enriquecidos tecnológicamente. Después de muchos años puede hablarse de consensos básicos en torno a lo que significan los planteamientos constructivistas en el proceso de enseñanza/aprendizaje (Gil y al. 1999) y, al mismo tiempo, la informática educativa ha progresado desde propuestas instructivistas e individualistas hasta otras basadas en el aprendizaje colaborativo mediado por ordenador (Koschman, 1996), se dan, por tanto, las condiciones para que se concreten propuestas educativas realmente innovadoras. Aquí surgen los entornos de aprendizaje constructivista (Jonassen, 2000), en los que los ordenadores se utilizan al servicio de la resolución de problemas suministrando información, comunicación y recursos cognitivos al tiempo que hace posible su representación y manipulación.

El *applet* Java es una tecnología con futuro, entre otras razones, por su facilidad de transmisión a través de la web y su independencia del sistema operativo. Prueba de ello es que cada día se dispone de más y mejores *applets* que simulan los fenómenos naturales que se estudian en las clases de ciencias. Su incorporación a los entornos de aprendizaje constructivistas libera a éstos de las ataduras impuestas por el software propietario y hace posible su generalización entre profesores y alumnos.

En el plano didáctico el uso de simulaciones interactivas supone un avance cualitativo en la enseñanza de la física, no sólo porque permiten visualizar fenómenos que de otra forma serían inaccesibles, sino porque facilitan un aprendizaje de los conceptos y principios basado en la investigación de los alumnos y apoyado en el uso de procedimientos propios del trabajo científico (Christian et al., 2003). Además, la posibilidad de modelar fenómenos complejos sin la necesidad de recurrir a complicados tratamientos matemáticos previos tiene importancia por dos motivos:

- Permite sustituir la secuencia didáctica habitual (que se inicia con demostraciones matemáticas y termina en consecuencias físicas) por otra orientada inicialmente al estudio de los fenómenos desde una perspectiva física (que puede terminar o no con la formulación matemática de las relaciones establecidas)

- Permite acercar los fenómenos físicos a alumnos de otras disciplinas científicas próximas como las ciencias ambientales, la geología o la química (entre otras), donde la comprensión de los conceptos físicos resulta importante y el tratamiento matemático que requeriría no es posible.

Estas ventajas del uso de las simulaciones no pueden hacernos olvidar la necesidad de seguir investigando en este campo. La investigación educativa debe contribuir a optimizar las estrategias docentes y a superar convicciones sustentadas en el sentido común. Por ejemplo hay evidencias empíricas de que las simulaciones, debido a su fuerte carácter interactivo, pueden bloquear procesos cognitivos que habrían de desembocar en aprendizajes explícitos de principios físicos (Rieber et al., 2004), incluso hay constancia de que determinadas formas de actividad de los alumnos, semejantes a las utilizadas por los científicos, no tienen la efectividad que de ellas cabría esperar (Lee et al., 2004).

Referencias bibliográficas

Aviram, R. (2002): ¿Conseguirá la educación domesticar a las TIC? *Ponencia II Congreso Europeo de Tecnología de la información*, Barcelona, junio 2002. <http://tecnologiaedu.us.es/bibliovir/pdf/pon1.pdf> consultado (18/1/2006).

Barrows, H.S. (1986) A taxonomy of problem based learning methods. *Medical Education*, 20, 481-486.

Bohigas, X.; Jaén, X. y Novell, M. (2003) Applets en la enseñanza de la Física. *Enseñanza de las ciencias*, 21(3), 463-472.

Bonham, S, Risley, J. y Christian, W. (1999) Using Physlets to teach electrostatic. *The Physics Teacher*, 37, 276-280.

Bransford, J.; Brophy, S. y Williams, S. (2000) When Computer Technologies Meet the Learning Sciences: Issues and Opportunities. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21 (1), 59-84.

Bransford, J.; Brown, A. y Cocking, R. (Ed) (1999) *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. Washington DC: National Academy Press.

Brooks, J. y Brooks, M. (1993) *In search of understanding: the case for constructivist classroom*. Alexandria, VA: American Society for Curriculum Development.

Cabero, J.; Castaño, C.; Cebreiro, B.; Gisbert, M.; Martínez, F.; Morales, J.A.; Prendes, M.P.; Romero, R. y Salinas, J. (2003) Las nuevas tecnologías en la actividad universitaria, *Pixel-Bit*, 20, 81-100. <http://www.sav.us.es/pixelbit/articulos/n20/n20art/art2008.htm> consultado (18/1/2006)

Chandler, P. y Sweller, J. (1991) Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.

Christian, W. (2000) Java programming and Internet technologies for undergraduate education. *Computer Physics Communications*, 127, 16-22.

Christian, W. (2001) Physlets. Java Tools for a Web-Based Physics Curriculum. *Proceedings of the International Conference on Computational Science*, Portoroz-Slovenia, 1061-1073.

Christian, W.; Belloni, M.; Esquembre, F. y Martín, E. (2003) Enseñando Física con Fislets. *CIAEF, VIII Conferencia Inter-americana sobre educación en Física*, La Habana, Julio 7-11. (http://colos.fcu.um.es/DiseGrafSimula/Docs/Fislets_Paco_E.pdf) consultado (18/1/2006)

Clark, J. y Paivio, A. (1991) Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review* 3, 149-210.

Dancy, M., Christian, W. y Belloni, M. (2002) Teaching with Physlets: Examples from Optics. *The Physics Teacher* 40, 494-499.

Gil, D.; Carrascosa, J.; Furio, C. y Martínez-Torregrosa, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*, Barcelona: Horsori.

Gil D.; Furió, C.; Valdés, P.; Salinas, J.; Martínez-Torregrosa, J.; Guisasola, J.; González, E.; Dumas-Carré, A.; Goffard, M. y Pessoa De Carvalho, A. (1999) ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio?, *Enseñanza de las ciencias*, 17(2),311-320.

Honebein, P.; Duffy, T. y Fishman, B. (1993) Constructivism and the design of learning environment: context and authentic activities for learning. En T.M. Duffy, J. Lowyck y D.H. Jonassen (Ed) *Designing environments for constructive learning* (87-108). Berlin: Springer-Verlag.

Jonassen, D. (2000) El diseño de entornos constructivistas de aprendizaje. En Ch. Reigeluth (Ed): *Diseño de la instrucción. Teoría y modelos* (225-250). Madrid: Aula XXI Santillana.

Koschmann, T. (1996) Paradigms shift and instructional technology. En T. Koschmann (Ed), *CSCIL: Theory and practice of an emerging paradigm* (1-23) Mahwah, N.J: Lawrence Erlbaum Associates.

Lakkala, M.; Lallimo, J. y Hakkarainen, K. (2005) Teachers` pedagogical designs for technology-supported collective inquiry: a national case study. *Computer & Education* 45, 337-356.

Lee, K., Nicoll, G. y Brooks, D. (2004) A comparison of inquiry and worked example web-based instruction using physlets. *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 81-88.

Mayer, R. y Moreno, R. (2002) Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction* 12, 107-119.

Otero, M.R.; Greca, I.M. y Lang De Silveira, F.(2003) Imágenes visuales en el aula y rendimiento escolar en Física: un estudio comparativo. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias* 2 (1) <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen2/Numero1/Art1.pdf> (consultado 18/1/2006)

Paivio, A. (1990) *Mental representations: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.

Pollock, E.; Chandler, P. y Sweller, J. (2002) Assimilating complex information. *Learning and Instruction* 12, 61-86.

Reigeluth, Ch (2000a) ¿En qué consiste la teoría de diseño educativo y cómo se está transformando? En Ch. Reigeluth (Ed): *Diseño de la instrucción. Teoría y modelos* (15-40). Madrid: Aula XXI Santillana.

Reigeluth, Ch (2000b) La teoría elaborativa: orientación para la toma de decisiones sobre el alcance y la secuenciación. En Ch. Reigeluth (Ed): *Diseño de la instrucción. Teoría y modelos* (449-480). Madrid: Aula XXI Santillana.

Rieber, Ll., Tzeng, S. y Tribble, K. (2004) Discovery learning, representation, and explanation within a computer-based simulation: finding the right mix. *Learning and Instruction* 14, 307- 323.

Rubens, W.; Emans, B.; Leinonen, T.; Gomez, A. y Simons. R (2005) Design of web-based collaborative learning environments. Translating the pedagogical learning principles to human computer interface. *Computer & Education* 45, 276-294.

Savery, J. y Duffy, T.M. (1996) Problem based learning: An instructional model and its constructivist framework. En B.G.Wilson (Ed.): *Designing constructivist learning environments* (135-148). New Jersey: Educational Technology Publications.

Tam, M. (2000) Constructivism, Instructional Design, and Technology: Implications for Transforming Distance Learning. *Journal of Educational Technology & Society* 3(2), 50-60.

Tang, G. y Titus, A. (2002) Increasing students' time on task in calculus and general physics courses through WebAssign. *ASEE Annual Conference & Exposition*, Montreal-Canada, 16-19 June.

<http://webassign.net/info/tangtitus.pdf>. (consultado 18/1/2006).

Zamarro, J.M.; Martín, E.; Esquembre, F. y Härtel, H (1998) Unidades didácticas en Física utilizando simulaciones interactivas controladas desde ficheros HTML. *Comunicación IV Congreso RIBIE*, Brasilia.

<http://www.niee.ufrgs.br/ribie98/TRABALHOS/100.PDF> (consultado 18/1/2006).