

# APLICACIONES DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y DE LA COMUNICACIÓN EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA. PRIMERA PARTE: FUNCIONES Y RECURSOS

Alfonso Pontes Pedrajas

Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Córdoba

## RESUMEN

*Las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) ejercen actualmente una influencia cada vez mayor en la educación científica, tanto en la enseñanza secundaria como en la universitaria, no sólo en lo que respecta a la mejora del aprendizaje de la ciencia por parte de los alumnos de tales niveles, sino que también desempeñan un papel creciente en la formación inicial y permanente del profesorado. Sobre esta temática hemos elaborado un trabajo de revisión, que por su extensión se ha desglosado en dos partes. En este primer artículo se realiza un análisis panorámico de tales aplicaciones, abordando las posibles funciones educativas y los tipos de recursos informáticos que pueden utilizar los profesores de ciencias experimentales.*

**Palabras clave:** *Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs), educación científica, formación del profesorado, fines educativos, recursos informáticos en la enseñanza de las ciencias.*

## INTRODUCCIÓN

En el campo de la investigación didáctica se admite, desde hace varias décadas, la necesidad de utilizar los programas de ordenador de todo tipo en la enseñanza de la ciencias, por las indudables ventajas pedagógicas que se han ido poniendo de manifiesto en múltiples trabajos de divulgación e investigación realizados en los países más avanzados y, sobre todo, en el mundo anglosajón (Hartley, 1988; Lelouche, 1998). En tales trabajos se ha puesto de manifiesto que los programas didácticos de ordenador poseen algunas características bastante interesantes, desde el punto de vista educativo, como son la gran capacidad de almacenamiento y de acceso a todo tipo de información, la propiedad de simular fenómenos naturales difíciles de observar en la realidad o de representar modelos de sistemas físicos inaccesibles, la interactividad con el usuario, o la posibilidad de llevar a cabo un proceso de aprendizaje y evaluación individualizada, entre otras muchas aplicaciones educativas.

En todos estos aspectos los ordenadores están mejorando actualmente sus prestaciones mediante la creciente potencia de los entornos multimedia, los avances de la inteligencia artificial y el uso cada vez más extendido de Internet. Pero a pesar del largo camino recorrido en las tres últimas décadas y de los evidentes avances de la informática educativa, todavía siguen existiendo cuestiones relevantes en el dominio de la educación científica en los que merece la pena reflexionar, como son el

análisis de las funciones educativas que pueden desempeñar los ordenadores en la enseñanza de las ciencias y en la formación del profesorado, los recursos informáticos que presentan mayor interés y que resultan más accesibles al profesorado, la búsqueda de soluciones para los problemas educativos planteados en el campo de la didáctica de las ciencias mediante el uso de las TICs y el desarrollo de métodos y estrategias de trabajo docente que permitan utilizar los recursos informáticos como instrumentos de aprendizaje significativo.

Todos estos temas constituyen una panorámica suficientemente amplia como para propiciar el debate y la reflexión entre los profesionales de la enseñanza en los comienzos del siglo XXI, que será probablemente un periodo de grandes cambios en la educación a consecuencia de la incorporación de las TICs al mundo de la enseñanza. En este trabajo no pretendemos dar respuestas exhaustivas a todas estas cuestiones pero podemos realizar una revisión de esta problemática y apuntar algunas ideas o sugerencias que permitan seguir avanzado en el desarrollo de la informática educativa aplicada a la enseñanza de las ciencias.

## **FUNCIONES QUE PUEDEN DESEMPEÑAR LAS TICs EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA**

Comenzaremos por analizar los fines que se pueden alcanzar mediante el uso de las TICs en la enseñanza de las ciencias, o las funciones educativas que pueden desarrollarse si se utilizan adecuadamente tales recursos. A lo largo del periodo que ya ha recorrido la informática educativa en países como Estados Unidos o Gran Bretaña, desde de la década de los años setenta del pasado siglo, se han diseñado numerosos recursos para todas las materias y niveles educativos, se han realizado muchas experiencias educativas y se ha publicado una gran cantidad de trabajos de investigaciones sobre la influencia de los programas de ordenador en múltiples aspectos del proceso de enseñanza y aprendizaje. En algunos trabajos de revisión y síntesis de tales investigaciones (Long, 1991; Insa y Morata, 1998; Sierra, 2003) se han expuesto las múltiples funciones que pueden desempeñar las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) en la educación, tanto en lo que se refiere a la formación de estudiantes de todos los niveles educativos como en la formación inicial y permanente del profesorado.

### **El papel de las TICs en la formación de estudiantes de ciencias**

Tras el análisis de estudios sobre la influencia de los programas de ordenador en la formación de estudiantes, podemos clasificar las funciones formativas de las TICs en tres categorías relacionadas con el desarrollo de objetivos conceptuales, procedimentales y actitudinales, que se sintetizan en la tabla 1 y se comentan a continuación.

Entre los objetivos de carácter conceptual, ligados a la adquisición de conocimientos teóricos, hay que destacar la función de las TICs en facilitar el acceso a la información y su influencia en el aprendizaje de conceptos científicos. Diversos trabajos sobre el tema (Stewart et al., 1989; Hennessy et al., 1995) han puesto de manifiesto que los

recursos multimedia desempeñan importantes funciones informativas y contribuyen a mejorar la adquisición de conocimientos de tipo conceptual porque, entre otras cosas, facilitan el acceso a contenidos educativos sobre cualquier materia y permiten presentar todo tipo de información (textos, imágenes, sonidos, vídeos, simulaciones, ...) relacionada con fenómenos, teorías y modelos científicos.

Con relación a los objetivos de carácter procesal o procedimental que pueden desarrollarse con ayuda de las TICs, hay que referirse al aprendizaje de procedimientos científicos y al desarrollo de destrezas intelectuales de carácter general. Algunos de los muchos trabajos realizados sobre esta amplia temática (Rieber, 1994; Kelly & Crawford, 1996; Cortel, 1999) muestran la existencia de diversos tipos de recursos informáticos que contribuyen a desarrollar conocimientos procedimentales y destrezas como la construcción e interpretación de gráficos, la elaboración y contrastación de hipótesis, la resolución de problemas asistida por ordenador, el manejo de sistemas informáticos de adquisición de datos experimentales, o el diseño de experiencias de laboratorio mediante programas de simulación de procedimientos experimentales. Por otra parte, el manejo de Internet también fomenta el desarrollo de destrezas intelectuales como la capacidad indagadora, el autoaprendizaje o la familiarización con el uso de las TICs (Lowy, 1999).

Objetivos educativos	Funciones a desarrollar
Conceptuales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilitar el acceso a la información</li> <li>- Favorecer el aprendizaje de conceptos</li> </ul>
Procedimentales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aprender procedimientos científicos</li> <li>- Desarrollar destrezas intelectuales</li> </ul>
Actitudinales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Motivación y desarrollo de actitudes favorables al aprendizaje de la ciencia</li> </ul>

**Tabla 1.- Fines y funciones de las TICs en la formación de estudiantes.**

Por último hay que indicar que el uso educativo de las TICs fomenta el desarrollo de actitudes favorables al aprendizaje de la ciencia y la tecnología. Como han puesto de manifiesto diversos trabajos sobre el tema (Jegede, 1991; Yalcinalp et al., 1995; Escalada y Zollman, 1997), el uso de programas interactivos y la búsqueda de información científica en Internet ayuda a fomentar la actividad de los alumnos durante el proceso educativo, favoreciendo el intercambio de ideas, la motivación y el interés de los alumnos por el aprendizaje de las ciencias. Muchos alumnos también participan en foros de debate sobre temas científicos o llegan a elaborar sus propias páginas webs y pequeños programas de simulación.

### **El papel de las TICs en la formación del profesorado**

El segundo tipo de funciones educativas que hemos apuntado anteriormente está relacionado con la formación docente del profesorado en el uso educativo de las TICs. Este es un tema que se ha estudiado también en diversos trabajos de investigación, de los que se han deducido algunas conclusiones interesantes. Por ejemplo el uso de las TICs en actividades de formación favorece la familiarización del profesorado con estas herramientas y mejora sus recursos didácticos (Kimmel et al., 1988), permite

desarrollar habilidades científicas tales como el trabajo en grupo o la emisión y contrastación de hipótesis utilizando programas de simulación (Baird & Koballa, 1988) y también ayuda a mejorar la formación científica o a adquirir una imagen más adecuada de la ciencia (Greenberg et al. 1988). En tales investigaciones, y en otros trabajos de carácter más general (Insa y Morata, 1998), se ha puesto de manifiesto que la formación del profesorado en el uso educativo de las TICs, cuando se hace de forma adecuada, permite desarrollar diversas funciones tales como la mejora de la formación en los tres aspectos que se describen a continuación:

- *Formación tecnológica.* Este aspecto de la formación docente está relacionado con el manejo de programas de ordenador de propósito general (procesadores de texto, presentaciones, bases de datos, hojas de cálculo,...), con la búsqueda de información educativa en Internet y con el manejo de software específico para la enseñanza de cada disciplina.
- *Formación científica.* Se puede ampliar o actualizar la formación científica, mediante la búsqueda de información actualizada sobre cualquier tema de su disciplina y el manejo de programas de simulación o de resolución de problemas que pueden resultar útiles para su actividad docente.
- *Formación pedagógica.* Se puede mejorar la formación pedagógica, mediante el diseño y experimentación de estrategias que utilicen las TICs en la práctica docente como instrumentos que puedan favorecer el aprendizaje activo y reflexivo de los alumnos.

En un informe del programa EURYDICE de la Comisión Europea para el desarrollo de la Educación y la Cultura (Pépin, 2001), sobre los indicadores básicos que describen la incorporación de las TICs en los sistemas educativos de los diversos países europeos, se resaltan estas funciones de las TICs en la formación del profesorado, aunque se advierte que en muchos casos los profesores han ido adquiriendo formación docente sobre el uso de las TICs de forma autónoma, por interés personal o por la necesidad de ponerse al día en estos temas, ya que no existe una planificación general en todos los países sobre la forma adecuada en que debe llevarse a cabo la formación inicial y permanente del profesorado en relación al uso docente de las TICs.

## **RECURSOS INFORMÁTICOS PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**

Una vez que se han analizado las funciones y posibles objetivos educativos de las TICs, tanto en la docencia como en la formación del profesorado, vamos a plantearnos algunas cuestiones relacionadas con la utilización de estas herramientas en la práctica docente. Parece interesante plantearse todavía si son muchos o pocos los profesores que utilizan los ordenadores como medios de enseñanza, qué tipo de problemas encuentran para utilizar tales medios y qué tipos de recursos informáticos presentan mayor interés para el profesorado que utiliza los ordenadores en su práctica docente.

### **Implantación de las TICs como recursos educativos**

Con relación a la cuestión del grado de aplicación de las TICs en la enseñanza hay que indicar que existen actualmente muchos programas de ordenador y páginas Web de

carácter educativo, para todas las materias y niveles de enseñanza, pero son todavía muchos los profesores que no los utilizan (Pépin, 2001), de modo que la mayoría de tales programas se van quedando obsoletos o anticuados sin llegar a aplicarse en contextos educativos reales y sin evaluar su posible utilidad didáctica. Esto puede deberse al hecho de que tales programas están diseñados en lenguajes de programación de alto nivel y se proporcionan como instrumentos cerrados, que el usuario puede ejecutar siguiendo una serie de instrucciones o pasos determinados. En principio el profesor puede utilizar tales programas sin poseer conocimientos específicos del lenguaje de programación, pero entonces no puede modificar su estructura ni sus contenidos. Tampoco puede diseñar actividades de aprendizaje, incluidas en el propio programa, aunque en algunos casos se dispone de libertad para seleccionar algunas de las tareas que están disponibles en el programa.

Si el profesor quiere disponer de un programa informático que se adapte por completo a sus necesidades o a sus intenciones educativas, parece que la única solución consiste en conocer bien un lenguaje de programación para elaborar sus propios programas o para introducir modificaciones en los programas existentes. Pero esta tarea no es fácil de llevar a cabo por parte de un sólo profesor y hay que hacerla en equipo, con el inconveniente añadido de que la producción de programas es un proceso lento y que los programas informáticos tienden a quedar anticuados en poco tiempo.

En los últimos tiempos esta situación está cambiando. Por una parte se están desarrollando sistemas y lenguajes de autor, que facilitan el diseño de unidades didácticas por parte de los profesores interesados en esta temática. Mediante un sistema de autor se pueden elaborar lecciones, incluyendo diagramas, gráficos, imágenes, textos, cuestiones y permitiendo la evaluación de las respuestas, mediante la realimentación adecuada. Estas herramientas permiten al profesor mayor libertad en la estructura de los temas pero también requieren bastante dedicación. Por otra parte, los lenguajes y sistemas de autor están evolucionando rápidamente en conexión con los avances sobre tutores inteligentes y sistemas adaptativos multimedia (Macias y Castell, 2000), que están mejorando notablemente las posibilidades de interacción del alumno con los programas, el acceso a la información, la presentación de contenidos y el diseño de actividades de aprendizaje. Esta panorámica abre unas importantes expectativas para la evolución futura de la enseñanza asistida por ordenador, ya que permite diseñar sistemas tutoriales flexibles y adaptados al nivel de conocimientos de cada alumno.

Con relación a los problemas que encuentra el profesorado de ciencias, sobre todo de la enseñanza no universitaria, para incorporar en mayor medida el uso de los ordenadores en su práctica docente, además de los hechos señalados anteriormente, hay que referirse a dos aspectos importantes señalados en el informe de la Comisión Europea antes citado (Pépin, 2001): la falta de inversión económica para dotar adecuadamente todos los centros educativos de un número suficiente de ordenadores conectados a Internet y la falta de mecanismos que aseguren un grado adecuado de formación inicial y permanente del profesorado en el uso educativo de las TICs. Estos problemas no presentan el mismo grado de incidencia en todos los países de la Unión

Europea, puesto que existen países como Finlandia, Luxemburgo, Dinamarca, Suecia o Reino Unido, que presentan datos sobre la implantación de las TICs en los centros educativos mucho más favorables que otros países como Grecia, Italia, Portugal o España. En lo que respecta a nuestro país, aunque en los últimos años se está haciendo un esfuerzo importante por incrementar los recursos destinados a mejorar la implantación de las TICs en los centros educativos, sobre todo en algunas comunidades autónomas, es necesario recorrer todavía un largo camino en el terreno de la inversión en recursos y en formación del profesorado para alcanzar los niveles de uso de la informática educativa que presentan los países más avanzados.

### **Tipos de recursos informáticos que puede utilizar el profesorado**

Con relación a la cuestión de los tipos de recursos informáticos que puede utilizar el profesorado y las posibles aplicaciones educativas de los diferentes recursos, hay que hacer una distinción entre los recursos informáticos de propósito general y los programas específicos de enseñanza asistida por ordenador. En la tabla 2 se citan los ejemplos más conocidos de estos tipos de recursos y en los apartados siguientes se describen tales aplicaciones.

<b>Aplicaciones de propósito general</b>	<b>Aplicaciones de carácter específico</b>
Procesadores de texto	Programas de ejercitación y autoevaluación
Bases de datos,	Tutoriales interactivos
Hojas de cálculo,	Enciclopedias multimedia
Diseño de presentaciones,	Simulaciones y laboratorios virtuales
Entornos de diseño gráfico	Laboratorio asistido por ordenador
Navegadores de internet	Tutores inteligentes
Gestores de correo electrónico	Sistemas adaptativos multimedia
Diseño de páginas Web	Sistemas de autor

**Tabla 2.- Recursos informáticos que puede utilizar el profesorado de ciencias.**

### **Recursos informáticos de propósito general**

Se denominan programas de propósito general a las aplicaciones informáticas que pueden ser útiles para todo tipo de usuarios de ordenador (Pontes, 1999), entre las que actualmente destacan las llamadas herramientas de ofimática tales como procesadores de texto (Word, Word Perfect,...), bases de datos (DBase, Acces,...), hojas de cálculo (Excel, ...), presentaciones (Harvard Graphics, Power Point, ...), entornos de diseño gráfico (Paint, Corel Draw, Autocad,...) y otro tipo de herramientas como los navegadores de internet (Explorer, Nestcape, ...), gestores de correo electrónico (Outlook Express, ...) y recursos para la edición y diseño de páginas Web (FrontPage,...).

Con relación a estas aplicaciones de propósito general hay que señalar que, aunque no tienen necesariamente un carácter educativo, es sumamente conveniente que el profesorado de todos los niveles tenga un conocimiento adecuado de algunas de estas aplicaciones, con el fin de poder utilizarlas en diversas actividades relacionadas con la enseñanza. No es necesario a estas alturas reflejar la importancia educativa de manejar un procesador de textos para que el profesor pueda elaborar apuntes, actividades de clase, exámenes, etc. También es bastante recomendable para el profesorado aprender a elaborar y utilizar en clase presentaciones didácticas por ordenador, o bien colecciones

de diapositivas y transparencias, usando una herramienta bastante generalizada y sencilla de usar como Power Point. Por último, no podemos olvidar la gran importancia desde el punto de vista cultural y educativo de saber manejar un navegador para buscar información de todo tipo en Internet o el manejo del correo electrónico para comunicarse entre profesores y alumnos. Por tanto, los citados recursos deberían formar parte de la formación mínima que todo profesor debería adquirir en relación al uso de las TICs en la enseñanza. Los otros tipos de programas de propósito general (bases de datos, hojas de cálculo, diseño de gráficos y de páginas web...), aunque pueden tener un uso más restringido y específico que los anteriores, también pueden ser útiles en la docencia y, por tanto, debería favorecerse su conocimiento entre el profesorado.

### **Programas específicos de enseñanza de las ciencias asistida por ordenador**

En general, la enseñanza asistida por ordenador (EAO) consiste en la utilización de programas específicos diseñados para instruir y orientar al alumno sobre aspectos concretos de las diversas materias y contenidos de la enseñanza. En este sentido hay que tener en cuenta la gran capacidad de los ordenadores como instrumentos para almacenar, organizar y acceder a todo tipo de información. En particular la EAO tiene gran interés en la educación científica y técnica por las posibilidades que ofrece el ordenador desde el punto de vista de la comunicación interactiva, el tratamiento de imágenes, la simulación de fenómenos y experimentos, la construcción de modelos, la resolución de problemas, el acceso a la información y el manejo de todo tipo de datos. Este área de trabajo se lleva desarrollando desde hace bastantes años y está sujeta a los múltiples avances que se producen con gran rapidez en el dominio de la informática, de manera que resulta difícil hacer una síntesis global de esta temática y tampoco es ese el fin principal de este trabajo.

La aplicación didáctica del ordenador en la enseñanza de las ciencias que tiene mayor interés, consiste en la utilización de programas específicos para el desarrollo de diversos aspectos de una disciplina científica, cuyo uso no requiera conocimientos informáticos. Tales instrumentos reciben el nombre genérico de programas instruccionales, aunque en realidad se pueden distinguir diferentes tipos de programas en función de las características de los mismos, los objetivos didácticos que persiguen y las teorías educativas en las que se fundamentan. Dentro de los programas instruccionales existe una amplia gama, que van desde los más simples a los más complejos. Entre los tipos de programas instruccionales que han alcanzado mayor popularidad se encuentran los programas de ejercitación, las enciclopedias multimedia, los programas tutoriales, los programas de simulación y las herramientas de laboratorio asistido por ordenador.

### *Programas de ejercitación y autoevaluación*

Estos programas de ejercitación, también conocidos como programas de ejecución y práctica, son programas de preguntas y respuestas al más puro estilo de la enseñanza programada tradicional, que se fundamenta en la psicología conductista (Pozo, 1989). Tales programas presentan ejercicios o cuestiones que requieren una respuesta inmediata por parte del alumno y proporcionan un diagnóstico sobre la veracidad o falsedad de la respuesta. Cuando las preguntas son de carácter conceptual o teórico

se suelen plantear como cuestiones de opción múltiple, con una respuesta correcta y varios distractores. También pueden plantear problemas sencillos o ejercicios que requieren la utilización de leyes científicas y procedimientos de cálculo antes de introducir la respuesta. En realidad este tipo de programas corresponden a la primera etapa de la informática educativa y se han utilizado generalmente como instrumentos de repaso y autoevaluación de una lección determinada, de modo que pueden ser útiles todavía para la recuperación de deficiencias de aprendizaje (Fidalgo, 1992.). Un ejemplo de este tipo de programas para la enseñanza de la Física de nivel preuniversitario es la primera versión del programa Microlab, para el sistema operativo MS-dos, que se comercializó en los primeros años de la década de los noventa en nuestro país, estando integrado por un conjunto de temas del currículo que disponían de una serie de cuestiones y problemas que el alumno debía resolver, recibiendo información sobre el grado de aprendizaje desarrollado en cada momento. Este tipo de programas ya no se elaboran de forma aislada, sino que constituyen módulos de ejercitación de otros programas educativos más amplios y completos.

### *Tutoriales interactivos*

Los programas tutoriales están diseñados con un enfoque educativo más general ya que se plantean ayudar al alumno a desarrollar un proceso individualizado de aprendizaje de los contenidos de un tema específico o de una materia, incluyendo conceptos y destrezas (Vaquero 1992). Tales programas proporcionan información estructurada sobre el tema y también plantean actividades de aprendizaje, que pueden ser preguntas de tipo conceptual o ejercicios y problemas, de manera que el sistema puede controlar o registrar información sobre el ritmo de trabajo, las dificultades encontradas o los fallos cometidos en las actividades y otras características del proceso de aprendizaje. En realidad los programas tutoriales se diferencian de los programas de ejecución y práctica por disponer de un módulo de contenidos educativos, parecido al que pueda ofrecer un libro de texto, de modo que el alumno puede acceder a esa información teórica o conceptual a la hora de realizar las actividades de aprendizaje que se incluyen en el tutorial. En muchos casos los programas tutoriales disponen de un módulo de evaluación al final de cada unidad, que proporciona información sobre el rendimiento global del trabajo realizado por el alumno con el programa.

Durante mucho tiempo los programas tutoriales se han desarrollado en el marco educativo del modelo conductista de enseñanza, ya que se han utilizado como instrumentos de transmisión y recepción de conocimientos elaborados sin tener en cuenta la complejidad de los procesos cognitivos y la influencia de las concepciones personales de los alumnos en los procesos de aprendizaje (Pozo, 1989). Sin embargo hay que reconocer que algunos de estos programas constituyen buenas herramientas de ayuda al aprendizaje, sobre todo como instrumentos complementarios de la acción del profesor y del trabajo realizado en clase, ya que permiten llevar a cabo un proceso de estudio individual tutorizado, recibir información inmediata sobre el tipo de aprendizaje realizado al detectar los errores cometidos en las diversas actividades y acceder a diferentes tipos de ayudas que permiten ir superando las dificultades encontradas. Un ejemplo asequible de este tipo de programas es el software comercial

*Física de COU*, de la colección *El Profesor Multimedia* (Mediasat, 2000), que incluye un libro electrónico sobre los temas de la asignatura, con gráficos estáticos y animaciones dinámicas (aunque no llegan a ser simulaciones propiamente dichas), cuestionarios de evaluación y otras herramientas complementarias (calculadora, bloc de notas...).

#### *Enciclopedias multimedia*

Las enciclopedias interactivas de carácter multimedia son recursos formativos que puede utilizar el profesor y el estudiante para hacer consultas de todo tipo. Estas herramientas, que se ofrecen normalmente en soporte CD-rom y también en Internet, están integradas por un sistema hipertexto que permite navegar fácilmente por los contenidos de la aplicación y acceder con rapidez a la información sobre cualquier concepto.

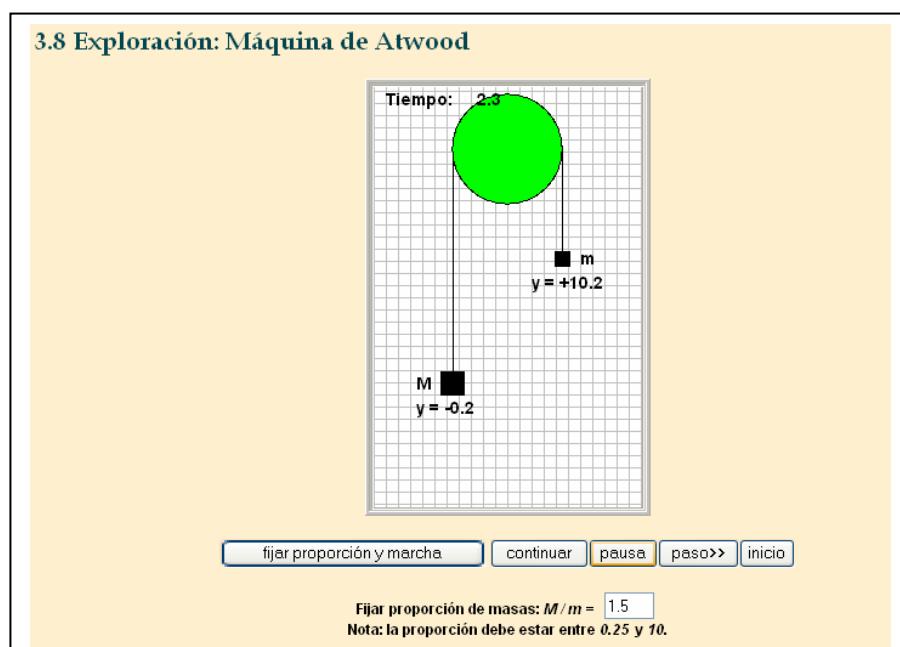
En la actualidad estas herramientas multimedia, además de textos, incluyen numerosas imágenes, animaciones y vídeos. Existen enciclopedias de carácter general, como *Encarta* o *Micronet*, que pueden servir a todo tipo de estudiantes. También existen aplicaciones concretas para la educación científica como la *Enciclopedia Interactiva de Consulta* (que incluye varios volúmenes en CD-rom sobre Física, Química, Biología, Matemáticas,...) y otros materiales en Cd-rom o en Internet más específicos (El universo, Grandes acontecimientos de la ciencia, Colección Los Orígenes, El cuerpo Humano...).

#### *Simulación de fenómenos y laboratorios virtuales*

Los programas de simulación están adquiriendo en los últimos tiempos un importante grado de desarrollo y aplicación en la educación científica, debido al avance progresivo de la informática y al perfeccionamiento cada vez mayor de las capacidades de cálculo y expresión gráfica de los ordenadores. Las simulaciones proporcionan una representación dinámica del funcionamiento de un sistema determinado, por lo que tienen cada vez más importancia en la enseñanza de la física, la tecnología, la biología, la astronomía, la medicina, la química, la geología y todas las ciencias en general, ya que permiten visualizar el desarrollo de procesos simples o complejos, mostrando la evolución del sistema representado y la interacción entre los diversos elementos que lo integran o al menos algunas consecuencias de tales interacciones (Martínez et al., 1994). Las simulaciones utilizan modelos de sistemas donde se modifican algunos parámetros o variables y se obtienen resultados observables que permiten realizar inferencias sobre la influencia de tales variables en el comportamiento del sistema representado, por tanto proporcionan al alumno la oportunidad de interactuar, reflexionar y aprender, participando de forma activa en el proceso educativo (Andaloro et al., 1991).

Este tipo de programas tienen importantes aplicaciones en la enseñanza de la ciencia cuando se utilizan en la presentación de situaciones no asequibles en la práctica o que pueden ser peligrosas, la idealización de las condiciones de un experimento, la representación de situaciones que requieren un equipo muy complejo, la utilización de modelos parciales del mundo real o de modelos completamente teóricos, la manipulación y el control de variables entre otras aplicaciones (Zamarro et al., 1997).

En particular, la simulación ha permitido desarrollar muchas aplicaciones educativas interesantes para la enseñanza de la Física, como la que se muestra en la figura 1 (Esquembre et al., 2004), sobre todo en lo que se refiere al estudio de los procesos dinámicos, sistemas en movimiento, dibujo de trayectorias, descripción vectorial de los fenómenos físicos, descripción de campos de fuerza, formación de imágenes en óptica geométrica, fenómenos ondulatorios, procesos atómicos y nucleares, etc. (Gorsky & Finegold, 1992; Ehrlich et al. 1993; Bedford & Fowler, 1996; Windschitl & Andre, 1998; Franco, 2000). Además de la Física, el desarrollo y aplicación de las simulaciones también desempeña, desde hace tiempo, una función educativa importante en otras materias como Biología (Jegede, 1991), Química (Yalcinalp et al., 1995) o Tecnología (Li, 1998).



**Figura 1.-** Simulación del movimiento de dos masas en la Máquina de Atwood (Esquembre et al., 2004).

Dentro de los programas de simulación, además de las simulaciones científicas de carácter general, también existen algunos tipos de aplicaciones educativas muy específicas como son la modelización animada de fenómenos o procesos y las experiencias de laboratorio simuladas por ordenador. Una animación o modelización animada consiste en la simulación de un proceso (físico, químico, biológico, tecnológico, ...), sin incluir parámetros cuantitativos que puedan ser introducidos o modificados por el usuario, de modo que el objetivo de este tipo de simulación consiste en mostrar desde un punto de vista gráfico o visual la evolución de un sistema como puede ser el caso del crecimiento de una célula, el movimiento de los planetas, los cambios atómico-moleculares de una reacción química o el funcionamiento de una aplicación tecnológica (Pontes et al., 2003).

Las experiencias simuladas por ordenador, también denominadas laboratorios interactivos de simulación y laboratorios virtuales, muestran de forma realista o de forma simbólica un sistema experimental, formado por instrumentos de medida y

otros componentes materiales de un laboratorio científico o técnico, en el que se permite a los alumnos diseñar experiencias simuladas arrastrando componentes desde una caja de herramientas virtual hasta una ventana de simulación del experimento, o se presenta en pantalla el montaje de una experiencia virtual para que el alumno modifique las variables de entrada del sistema y observe los resultados que ofrecen los instrumentos de medida virtuales que forman parte del sistema (Pontes et al., 2003). Con los avances tecnológicos que se están produciendo actualmente en el campo de la realidad virtual y sus aplicaciones en la educación científica (Bell y Fogler, 1996), es probable que en los próximos años podamos disponer de laboratorios virtuales muy parecidos a los montajes experimentales reales.

#### *Laboratorio asistido por ordenador*

Además de las experiencias simuladas que se han descrito antes, el ordenador puede utilizarse también en el laboratorio científico como sistema de control de sensores físicos y de adquisición de datos en aquellos experimentos en los que se necesitan un gran número de éstos, pudiendo ser procesados además con programas del propio ordenador (Collins & Greensalde, 1989). En la actualidad, los fabricantes de material de laboratorio de ciencias experimentales van incluyendo cada vez mayor número de equipos experimentales que llevan ordenadores acoplados, los cuales recogen y tratan los datos experimentales, a partir de los cuales se pueden realizar simulaciones, construir gráficas que muestran la relación entre variables o realizar cálculos y ajustes de diferente tipo que ayudan al estudiante en el desarrollo de la experiencia. Esta aplicación de los ordenadores puede ser muy útil en la enseñanza experimental de la Física, de la Química o de la Tecnología, a nivel básico y avanzado, ya que puede servir de introducción al interesante dominio de la automatización que tiene tanta importancia en la vida moderna.

En los últimos años ha tenido lugar un desarrollo importante de los sistemas informatizados para la adquisición y tratamiento de datos experimentales, así como para el control de aparatos e instrumentos, porque se han desarrollado equipos potentes y asequibles que han permitido la incorporación inmediata de estos sistemas al ámbito industrial y científico. Paralelamente, en los países de nuestro entorno, también han aparecido equipos experimentales dirigidos a la enseñanza de carácter científico o técnico que han pasado a formar parte del catálogo de instrumentos de laboratorio. En estos países, los principales fabricantes de material experimental han desarrollado sistemas de adquisición de datos que ya forman parte de los equipamientos habituales de algunos centros educativos.

En España se han desarrollado varios equipos de adquisición y tratamiento de datos, algunos de ellos bajo el patrocinio de las distintas administraciones educativas, tales como el equipo SADEX o los diversos equipos EXAO (Cortel, 1999). Los otros equipos en el mercado son de fabricantes extranjeros, comercializados a través de los representantes correspondientes en nuestro país (Pasco, 2000; Phywe, 2002). Al mismo tiempo que avanza el desarrollo de sensores e instrumentos de medida y de programas de ordenador que permiten controlar el proceso experimental, se están desarrollando nuevos materiales didácticos relacionados con el diseño de experiencias asistidas o controladas por el ordenador (Gil y Rodríguez, 2001), de tal forma que las

herramientas de laboratorio asistido por ordenador (LAO) constituyen un área de trabajo cada vez más importante, dentro de las aplicaciones de la informática educativa en la enseñanza de la ciencias experimentales.

La utilización de equipos informáticos de adquisición de datos en los laboratorios de ciencias experimentales de enseñanza secundaria, aunque es una actividad muy interesante, no deja de ser problemática debido a varios hechos entre los que hay que destacar el coste de los citados equipos y las dificultades cognitivas para utilizar estos sofisticados sistemas, que incluyen el manejo de sensores como instrumentos de medida y diversos programas de ordenador que controlan la adquisición y el análisis de datos. Para tratar de superar el segundo de los problemas citados hemos desarrollado recientemente un programa multimedia denominado *Sensores 1.0*, destinado a enseñar a nuestros alumnos de los primeros cursos de universidad a manejar uno de estos sistemas de adquisición de datos en el laboratorio de Física (Pontes et al., 2003). Dicho programa tiene varios módulos tales como tutorial, animaciones, laboratorio virtual y prácticas guiadas. En la figura 2 se muestra un ejemplo de práctica guiada sobre la Jaula de Faraday, en el que se simulan los pasos que debe realizar el alumno para montar por sí mismo dicha práctica utilizando el sistema de adquisición de datos disponible en nuestro laboratorio.



Figura 2.- *Modelo simulado de práctica guiada con el programa Sensores 1.0.*

#### *Sistemas inteligentes de enseñanza y sistemas adaptativos multimedia*

Al describir los recursos informáticos para la enseñanza de las ciencias experimentales que se han expuesto en los apartados anteriores se puede observar que no todos los programas pueden ser incluidos de un modo claro en alguno de los tipos señalados anteriormente. En realidad hay programas basados en la técnica de preguntas y

respuestas, como es el caso del programa "Microlab de resolución de problemas de física", que incluye importantes ayudas de tipo conceptual y procedimental para el desarrollo de las actividades programadas, de modo que se aproxima bastante a la noción de programa tutorial. Esta herramienta se concibe como un instrumento de estudio complementario del libro de texto y de la acción del profesor, pero incluye un módulo de control de la evaluación que registra la actividad desarrollada por cada alumno de la clase en una sesión de trabajo y proporciona datos interesantes al profesor sobre el proceso de aprendizaje. Por otra parte hay programas concebidos como tutoriales de ayuda en la resolución de problemas o de modelización de experimentos que, además de las actividades de aprendizaje programadas, incluyen simulaciones de los procesos físicos que se pretenden estudiar (Bedford y Fowler, 1996). También hay programas de simulación que incluyen módulos de contenidos teóricos sobre los fenómenos que se representan en las simulaciones y permiten realizar actividades de aprendizaje como la resolución de problemas relacionados con tales fenómenos (Pontes et al., 2001).

Por último, desde hace tiempo también se ha tratado de aplicar lenguajes y técnicas de programación propias de la inteligencia artificial para el diseño de sistemas expertos en educación o sistemas tutoriales inteligentes (Mandl & Lesgold, 1988; Kopec y Thompson, 1992) y se han llegado a desarrollar muchos de estos sistemas en conexión con los avances en la tecnología hipermedia y multimedia. En los últimos tiempos los avances en el desarrollo de la telemática, la inteligencia artificial y la informática educativa están convergiendo hacia el diseño de sistemas hipermedia adaptativos (Pérez y Gutiérrez, 1996, Macias y Castell, 2000) y tutores-asistentes para entornos virtuales de enseñanza (Romero et al., 2002). Estos nuevos programas, que pueden incluirse dentro de la denominación genérica de sistemas adaptativos multimedia, combinan las características clásicas de los tutores inteligentes (módulo de conocimiento experto, modelo de alumno, aprendizaje orientado y autorizado, ...) con las grandes posibilidades de comunicación e interacción que proporcionan los modernos entornos virtuales de carácter multimedia (incorporación de texto, imágenes, sonido, animaciones, simulaciones, navegación por internet,...).

Así pues, parece que se va superando la clasificación tradicional de los programas de Enseñanza Asistida por Ordenador y en la actualidad se tiende al desarrollo de sistemas tutoriales integrados que incluyen el tratamiento interactivo e inteligente de los diversos temas de una disciplina, incorporando simulaciones, contenidos de enseñanza, actividades tutorizadas de aprendizaje y tareas de evaluación. Esta panorámica abre unas importantes expectativas para la evolución futura de la enseñanza asistida por ordenador, ya que permite diseñar sistemas tutoriales individualizados, flexibles y adaptados al nivel de conocimientos de cada alumno.

### *Sistemas de autor*

Durante los primeros tiempos de la informática educativa el profesorado interesado en utilizar los ordenadores como recurso educativo, no tenía más remedio que utilizar software educativo elaborado por otras personas o aprender a desarrollar sus propios programas utilizando un lenguaje de programación de alto nivel, que requiere unos conocimientos avanzados de informática. Pero desde hace tiempo esta situación ha

cambiado porque se han desarrollado sistemas y lenguajes de autor, que facilitan el diseño de unidades didácticas por parte de los profesores interesados en esta temática. Mediante un sistema de autor se pueden elaborar lecciones que incluyen diagramas, gráficos, imágenes, textos, cuestiones y permiten realizar la evaluación de las respuestas, mediante la realimentación adecuada. Estas herramientas permiten al profesor mayor libertad en la estructura de los temas pero también requieren bastante dedicación. Por otra parte, los lenguajes y sistemas de autor están evolucionando rápidamente en conexión con el desarrollo de nuevos entornos multimedia que están mejorando notablemente las posibilidades de interacción del alumno con los programas, el acceso a la información y la presentación de contenidos y actividades. Al mismo tiempo los avances en la investigación sobre sistemas tutoriales inteligentes y sistemas adaptativos multimedia han dado lugar al desarrollo de sistemas de autor inteligentes, que permiten al profesorado diseñar cursos adaptativos e interactivos para todas las materias y que pueden ubicarse en Internet (Macias y Castell, 2001).

## SÍNTESIS Y CONSIDERACIONES FINALES

Para desarrollar este trabajo hemos partido del hecho de que Internet y las restantes tecnologías de la información y la comunicación ejercen actualmente una gran influencia en la educación científica y también pueden desempeñar a corto plazo un papel importante en la formación inicial y permanente del profesorado. Para abordar esta temática hemos realizado un análisis panorámico de las aplicaciones de las TICs en la enseñanza de las ciencias experimentales que se desarrolla en dos artículos consecutivos.

En este primer trabajo nos hemos centrado en analizar las funciones que pueden desempeñar las TICs en la educación científica, distinguiendo entre el papel que juegan en la formación de estudiantes de ciencias y en la formación del profesorado. También se han analizado los diferentes tipos de recursos informáticos que pueden utilizar los profesores en la enseñanza de las ciencias y sus posibles aplicaciones educativas. Se han expuesto las diferencias entre los recursos informáticos de propósito general (procesadores de texto, presentaciones multimedia, navegadores de Internet, entornos de diseño de páginas Web, ...) y los programas específicos de enseñanza de las ciencias asistida por ordenador (tutoriales interactivos, simulaciones y laboratorios virtuales, sistemas adaptativos multimedia, laboratorio asistido por ordenador, ...).

Como síntesis o conclusión general de este primer trabajo sobre aplicaciones de las TICs en la educación científica, podemos destacar que estos nuevos recursos didácticos ofrecen grandes posibilidades desde el punto de vista de la comunicación interactiva, el tratamiento de imágenes, la simulación de fenómenos o experimentos, la construcción de modelos y analogías, la resolución de problemas, el acceso a la información, el manejo de todo tipo de datos y el diseño de materiales didácticos o de cursos completos adaptados a las necesidades y características de diferentes tipos de alumnos. Entre las aplicaciones informáticas que presentan mayor interés para la enseñanza de las ciencias, en nuestra opinión, se encuentran los programas de simulación y los sistemas tutoriales integrados, que incluyen contenidos teóricos,

animaciones o simulación de fenómenos y ejercicios o pruebas de evaluación del aprendizaje. Posteriormente, en la segunda parte de este trabajo de revisión se va a formular una propuesta metodológica orientada a mejorar el uso didáctico de las TICs en la educación científica, utilizando este tipo de sistemas tutoriales integrados (Pontes, en prensa).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDALORO, G. et al. (1991). Modelling in Physics Teaching: The Role of Computer Simulation. *International Journal of Science Education*, 13(3), pp.243-254.

BAIRD, W. E. y KOBALLA, T.R. (1988). Changes in Preservice Elementary Teachers' Hypothesizing Skills Following Group or Individual Study with Computer Simulations. *Science Education*, 72 (2), pp. 209-223.

BEDFORD, A. y FOWLER, W. (1996). *Estática y Dinámica. Simulaciones interactivas*. Buenos Aires: Addison-Wesley.

BELL, J.T. y FOGLER, H. S. (1996). Vicher: A Virtual Reality Based Educational Module for Chemical Reaction Engineering. *Computer Applications in Engineering Education*, 4 (4), pp. 285-296.

COLLINS, P.J. y GREENSALDE, T.B (1989). Using the Computer as a Laboratory Instrument. *The Physics Teacher*, 76, pp.81-89.

CORTEL, A. (1999). Utilización de la informática en el laboratorio. *Alambique*, 19, pp.77-87.

EHRLICH,R., DWORZECK,A., MAC DONALD, W. y TUSZINSKY, J. (1993). Text materials to accompany simulations for the CUPS-Project. *Computer in Phisics*, 7(5), pp.508-518.

ESCALADA, L.T. y ZOLLMAN, D. A. (1997). An Investigation on the Effects of Using Interactive Digital Video in a Physics Classroom on Student Learning and Attitudes. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(5), pp.467-489.

ESQUEMBRE, F., MARTIN, E., CHRISTIAN, W., y BELLONI, M. (2004). *Fislets: Enseñanza de la Física con Material Interactivo*. Madrid: Pearson - Prentice Hall.

FIDALGO, A. (1992). La informática educativa de hoy a mañana. *ADIE: Revista de Enseñanza y Tecnología*, 7, pp.11-17.

FRANCO, A. (2002). *Física en Internet: Curso de Física por Ordenador*. En línea en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica>.

GIL, S. y RODRÍGUEZ, E. (2001). *Experimentos de Física usando nuevas tecnologías*. Buenos Aires: Prentice Hall-Pearson.

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, pp.163-178.

GREENBERG, R., RAPHAEL, J., KELLER, J.L. y TOBIAS, S. (1998). Teaching High School Science Using Image Processing: A Case Study of Implementation of Computer Technology. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(3), pp.297-327.

HARTLEY, J.R. (1988). Learning from computer based in learning in science. *Studies in Science Education*, 15, pp. 55-76.

HENNESSY, S. et al. (1995). Design of computer-augmented curriculum for mechanics. *International Journal of Science Education*, 17(1), pp.75-92

INSA, D. y MORATA, R. (1998). *Multimedia e Internet: Las nuevas tecnologías aplicadas en la formación*. Madrid: Paraninfo.

JEGEDE, O. J. (1991). Computers and the Learning of Biological Concepts: Attitudes and Achievement of Nigerian Students. *Science Education*, 75 (6), pp.701-706.

KELLY, G.J. y CRAWFORD, T. (1996). Students' Interaction with Computer Representations: Analysis of Discourse in Laboratory Groups. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(7), pp.693-707.

KIMMEL, H. et al. (1988). Computer Conferencing as a Resource for In-Service Teacher Education. *Science Education*, 72 (4), pp. 467-473.

KOPEC, D. y THOMPSON, R.B. (1992). *Artificial Intelligence and Intelligent Tutoring Systems*. New York: Ellis Horwood.

LELOUCHE, R. (1998). How education can benefit from computer: A critical review. *Proceedings of IV International Conference CALISCE '98*. Donostia.

LI, H. (1998). Information-Technology-Based Tools for Reengineering Construction Engineering Education. *Computer Applications in Engineering Education*, 6(1), pp.15-21.

LONG, R.R. (1991). Review of Articles on Information Technology in School Science. *School Science Review*, 262, pp. 146-150.

LOWY, E. (1999). Utilización de Internet para la enseñanza de las ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias*, 19, pp.65-72.

MACIAS, J.A. y CASTELL, P. (2000). Diseño interactivo de cursos adaptativos. *II Simposio Internacional de Informática Educativa – SIIE'2000*. Universidad de Castilla- La Mancha, Puertollano (Ciudad Real).

MACIAS, J.A. y CASTELL, P. (2001). An Authoring Tool for Building Adaptive Learning Guidance Systems on the Web. *Lecture Notes in Computer Science: Active Media Technology-AMT*. Heidelberg: Spring-Verlag,

MANDL,H. y LESGOLD,A. (1988). *Learning issues for intelligent tutoring systems*. New York: Spring-Verlag.

MARTINEZ, P., LEON, J. y PONTES, A. (1994). Simulación mediante ordenador de movimientos bidimensionales en medios resistentes. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1), pp.30-38.

MEDIASAT GROUP (2000). *El profesor multimedia: Física*. Madrid: Gecco-Media.

PASCO SCIENTIFIC (2000). *Experiments in Physics with computers and sensors*. Distribuidora Prodel: Madrid.

PÉPIN, L. (2001). *Basic indicators on the incorporation of ICT into European Education Systems. Annual Report 2002-01*. Directorate General for Education and Culture of European Commission. Eurydice: Brussels

PÉREZ, T.A. y GUTIÉRREZ, J. (1996). WebTutor: Un Sistema Hipermedia Adaptativo para la educación en la WWW. *Actas del V Congreso Iberoamericano de Inteligencia Artificial IBERAMIA'96*. Cholula, Puebla (Méjico).

PHYWE (2002). *Material didáctico para el laboratorio de Ciencias Experimentales*. Madrid: Phywe.

PONTES, A. (1999). Utilización del ordenador en la enseñanza de las ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 19, pp.53-64.

PONTES, A., MARTÍNEZ, M.P. y CLIMENT, M.S. (2001). Utilización didáctica de programas de simulación para el aprendizaje de técnicas de laboratorio en ciencias experimentales. *Anales de Química*, 97(3), pp.44-54.

PONTES, A. et al. (2003). El uso del ordenador como instrumento para enseñar a manejar sistemas de adquisición de datos experimentales. *XI Congreso Universitario sobre Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas*. Vilanova i la Geltrú: Universidad Politécnica de Cataluña.

PONTES, A. (en prensa). Aplicaciones de las nuevas tecnologías de la información en la educación científica. 2<sup>a</sup> Parte: Aspectos metodológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.

POZO, J.I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid. Morata.

RIEBER, L. P. (1989). The effects of computer animated elaboration strategies and practice on factual and application learning in an elementary science lesson. *Journal of Educational Computing Research*, 5, pp. 431-444.

RIEBER, L. (1994). *Computers, Graphics and Learning*. Madison WI: Brown y Benchmark,

ROMERO, C., RÍDER, J.J. y De CASTRO, C. (2002). Tutor-Asistente para Entornos Virtuales de Enseñanza. *ADIE: Revista de Enseñanza y Tecnología*, 22, pp. 32-39.

SIERRA, J.L. (2003). Estudio de la influencia de un entorno de simulación por ordenadores el aprendizaje por investigación de la Física en Bachillerato. *Tesis Doctoral. Universidad de Granada*.

STEWART, J. et al. (1989). Computers as Tutors: MENDEL as an Example. *Science Education*, 73 (2), pp. 225-242.

VAQUERO, A. (1992). Fundamentos pedagógicos de la enseñanza asistida por computadora. *Revista de Enseñanza y Tecnología: ADIE*, 6, pp.14-24.

WINDSCHITL, M. y ANDRE, T. (1998). Using computer simulations to enhance conceptual change: the roles of constructivist instruction and student epistemological beliefs. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(2), pp.145-160.

YALCINALP, S. et al. (1995). Effectiveness of Using Computer-Assisted Supplementary Instruction for Teaching the Mole Concept. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(10), pp.1083-1095.

ZAMARRO, J.M., HERNÁNDEZ, A., MARTÍN, E. y HÄRTEL, H. (1997). Uso de las simulaciones en la construcción de conocimientos científicos. *Enseñanza de las Ciencias, N<sup>o</sup> Extra*, pp.273-274.