

IMPLICACIONES DE LOS
ORDENADORES EN LA ENSEÑANZA DE
LA FÍSICA GENERAL
Enrique Arribas Garde
Consuelo Gallardo Martínez
Milagros Molina Alarcón

*Departamento de Física Aplicada.
Escuela Universitaria Politécnica.
Universidad de Castilla La Mancha.*

RESUMEN

Se hace un exhaustivo repaso a las diferentes formas en las que el ordenador puede incidir en el proceso educativo mediante el cual intentamos transmitir la asignatura de Física General en primer curso de cualquier carrera científica o técnica a nivel universitario.

ABSTRACT

An exhaustive review is made of different ways in which computers might modify the educative process through we are trying to transmit General Physics at first year of something scientific or technician career at university level.

Poco podía imaginarse Lady Ada Lovelace, hija única del célebre poeta británico Lord Byron, que la lógica binaria y el sistema de numeración en base dos, a los cuales hizo aportaciones fundamentales entre 1880 y 1890, servirían, casi un siglo después, como fundamento matemático y soporte fundamental de la estructura interna de una de las más poderosas herramientas de trabajo que el hombre ha tenido nunca entre sus manos. Curiosa y paradójicamente su padre, Lord Byron pertenecía a la secta británica de los luddites, los cuales

se oponían a todo tipo de automatización, porque creían que era contradecir la ley divina.

Serían aproximadamente las cinco de la tarde de un día cualquiera de la primavera de 1976, cuando los jóvenes Steve Wozniak y Steven Jobs desarrollan y llevan a cabo, en el garage de la casa californiana de los padres de éste, la idea de construir un ingenio al cual denominan cariñosa e ingenuamente Apple, debido a los numerosos botes de confitura de esta fruta que la madre de Steven almacenaba en dicho garage. Así fue, poco más o menos, la génesis de lo que ahora denominamos ordenador personal. Poco tiempo después, los dos precoces jóvenes crearon la empresa Apple Computer para comercializar esta revolucionaria y prometedora máquina. Actualmente el modelo insignia de la empresa de Cupertino es el Macintosh.

En Agosto de 1981 en Estados Unidos y en Febrero de 1983 en España, IBM lanza al mercado un ordenador personal, denominado IBM-PC, basado en un microprocesador Intel 8088 el cual funcionaba bajo el control del sistema operativo MS-DOS. Desde entonces, los ordenadores personales se han ido introduciendo en casi todas las facetas de nuestra cultura y forma de vida actual. Aquí queremos ocuparnos de la influencia que están produciendo en el ámbito educativo, especialmente dentro del marco de la enseñanza de la Física General.

El ordenador ha revolucionado la forma mediante la cual hacemos Física; pero todavía no ha alterado de una forma significativa nuestro modo de dar las clases. El cálculo numérico mediante la utilización de los potentes ordenadores vectoriales es una característica fundamental de la investigación científica; pero esta marea ha causado un reflujo muy pequeño en los cursos de Física que actualmente venimos impartiendo. Este es, quizá, el reto más importante que tenemos que afrontar los docentes de las asignaturas de Física y especialmente los que impartimos Física General en las Escuelas Técnicas o Facultades distintas de la Facultad de Ciencias Físicas, pues para nuestros alumnos la Física no es un fin sino un medio, y muchas veces, desgraciadamente, se la plantean como un escollo que hay que superar, como sea, para poder acceder a cursos posteriores en los que recibirán enseñanzas específicas, que son las que realmente les suponen una fuerte motivación.

Hay dos razones fundamentales por las que algunos nos hemos quedado atrapados en las maravillosas y fascinantes redes de la Física: (a) La Física estudia sistemas muy simples con una gran profundidad, buscando siempre la razón fundamental de los hechos, intentando profundizar en el conocimiento que tenemos de la Naturaleza, y (b) la Física es capaz de describir el mundo físico que nos rodea en nuestra existencia cotidiana y, al mismo tiempo nos da

cuenta de mundos remotos, alejados de nuestro sentido común, como pueden ser el mundo de lo muy rápido (relatividad), de lo muy grande (cosmología) y de lo muy pequeño (cuántica). Desde los tiempos inmemoriales los físicos han elegido como lenguaje mediante el cual expresarse el de las matemáticas. Cualquier libro de Física General está lleno de derivadas, integrales, ecuaciones diferenciales, vectores, trigonometría y cosas de ese estilo. Este hecho asusta, por lo menos, a la mitad de los alumnos y permite a muchos de los otros manipular símbolos en vez de comprender los conceptos que subyacen debajo de ellos. Afortunadamente, hoy día, los ordenadores personales son capaces de ayudarnos en la tarea de desarrollar las matemáticas necesarias para sistematizar nuestros modelos de ciertos sistemas físicos y además nos muestran, de una manera muy rápida, en su pantalla gráfica los resultados que predicen estos modelos.

Veamos con un poco de detalle los diferentes usos para los que podemos destinar el ordenador si lo aplicamos a la enseñanza de la Física. Lo podemos dividir en diversas categorías (Taylor, 1987), como por ejemplo: (a) realización de esquemas, (b) confección de exámenes, cartas, informes y artículos científicos, (c) desarrollos de cursos, (d) el ordenador como tutor, (e) inteligencia artificial, (f) simulaciones, (g) adquisición y tratamiento de datos en el laboratorio, (h) programación, (i) modelos físicos, (j) gráficos y (k) comunicaciones. Comentemos cada una de estas aplicaciones.

La realización de esquemas, confección de exámenes, cartas, informes y artículos científicos, y los desarrollos de cursos son unas aplicaciones más o menos directas de los ordenadores; pero creemos que no son una faceta especialmente imaginativa o creativa. Los procesadores de texto (como por ejemplo pueden ser el Wordstar, Wordperfect, MacWrite, etcétera) convierten al ordenador en una potentísima máquina de escribir, la cual es indispensable en la preparación de todo tipo de material escrito. Algunos de estos procesadores de texto permiten escribir fórmulas, símbolos matemáticos y gráficos, indispensables a la hora de confeccionar un artículo científico o unos apuntes de clase. Las hojas de cálculo electrónicas (por ejemplo la Lotus 1-2-3) permiten recoger y organizar de manera relativamente sencilla las notas de examen y posteriormente manipular estos datos mediante los adecuados comandos gráficos, elaborando diagramas de barras, de tarta, hacer ajustes por diversas funciones y calcular diferentes parámetros estadísticos. Son mejoras respecto de la metodología educativa tradicional; pero no representan ningún enfoque pedagógico alternativo ni suponen ningún cambio en el contenido docente del curso. Aún así, hay que reconocer que el ordenador supone una inestimable ayuda para la realización de estas tareas que podíamos denominar cuasi-burocráticas.

Los programas tutores, o software tutorial, consisten en convertir al ordenador en un profesor electrónico, guiando de forma incansable al alumno a través de un segmento del material que tiene que aprender. A veces se denominan diálogos con el ordenador. No han sido acogidos con mucho entusiasmo (Wilson, 1989) dentro de la comunidad de físicos y muchos cuestionan la filosofía educacional que hay detrás, pues conducen al alumno a lo largo de un pasillo estrecho, dentro de un rígido corsé, sin permitirle que haga uso de su intuición o de sus inquietudes y continuamente le están diciendo al alumno que haga una cosa u otra, sin dejarle que tome la iniciativa. Normalmente el programa va cambiando su presentación dependiendo de la respuesta del estudiante, el cual no puede escaparse de una forma legítima sin responder correctamente a la cuestión que le están planteando. En cierta forma convertimos al alumno en un esclavo del ordenador. Para producir programas tutoriales es necesario conocer la psicología de los estudiantes y, a veces se olvida, también sus preconcepciones que pueden diferir notablemente del modelo científico que el profesor puede tener en su mente. Esta es la única posibilidad que el programador tiene para poder prever los posibles errores que los estudiantes vayan a cometer y pueda poner los medios para corregirlos mediante indicaciones o preguntas adecuadas al ordenador. Uno de los pioneros en este campo ha sido Alfred Bork, y todavía sigue investigando en este terreno (Fuller, 1986).

La inteligencia artificial y los sistemas expertos están empezando a introducirse; pero todavía son muy poco usados en la enseñanza de la Física. La primera etapa de las aplicaciones de los ordenadores se ha centrado en los cálculos numéricos. En la actualidad nos encontramos en una fase de transición hacia otra etapa en que los ordenadores serán capaces de razonar, en la que los ordenadores se comportarán de manera inteligente, parecida a la actividad humana (si es que la actividad humana se puede calificar como inteligente). Con la inteligencia artificial el papel que juega el ordenador pasará de ser algo útil a convertirse en algo esencial, especialmente en el entorno educativo. Entonces el ordenador se convertirá en la principal herramienta del obrero del conocimiento. El futuro más inmediato, en este ámbito, se presenta con atisbos fascinantes.

El desarrollo de simulaciones que puedan utilizarse como demostraciones de ciertos fenómenos complejos está experimentando un formidable auge desde hace unos pocos años. Los estudiantes pueden usar los programas de simulación para manipularlos, cambiando de valor los parámetros que deseen y observar casi al instante el efecto que ese cambio puede tener en la evolución del sistema físico. Esto le ayuda a ser más intuitivos, desarrollando más la parte imaginativa que la mera formación en calcular cosas.

Un proyecto fascinante es llegar a producir demostraciones gráficas susceptibles de ser grabadas en vídeo y posteriormente reproducidas en clase, para que los alumnos tengan una alternativa a las clases magistrales. El profesor podría crear y almacenar en casa, o en el despacho, cierta secuencia de gráficos y sacarlos en el transcurso de la clase como poderosas ilustraciones de lo que está explicando. Sin embargo, el uso del ordenador puede ser un arma de doble filo. El uso de esta técnica no les debe alejar de la observación y experimentación, llamémosla manual, del mundo cotidiano que nos rodea, de nuestro entorno. Las simulaciones pueden ser estimulantes y atractivas en un contexto de enseñanza avanzado; pero para alumnos menores de 13 años, estudios realizados, demuestran que son programas similares a los de matar marcianos, y encima más aburridos, porque les falta la componente lúdica. Las demostraciones son útiles incluso cuando el alumno ha entendido bien el tema que estamos tratando. Desgraciadamente, los estudiantes pierden pronto el interés en las demostraciones. Las teorías educativas constructivistas nos dicen, entre otras cosas, que los alumnos deben manipular activamente el material si queremos que aprendan. La reciente aparición de los videodiscos va a hacer que este potencial de los ordenadores se haga una realidad plena, dentro de un plazo de tiempo muy corto.

La adquisición y tratamiento de datos en el laboratorio mediante el ordenador puede resultar decisiva a la hora de estimular a los alumnos para que pasen por los laboratorios y comprueben que lo que se les explica en clase tiene que ver con la realidad. La única precaución que tenemos que tener en cuenta es que el ordenador no se convierta en una especie de caja negra que oscurezca el proceso educativo en el laboratorio en vez de aportar luz. Es relativamente fácil, mediante una tarjeta de expansión adecuada (Collings, 1989), que el ordenador recoja datos de un par termoeléctrico, de un osciloscopio, de un voltímetro, de un amperímetro, de un fotodiodo, de transductores ultrasónicos, de detectores, de sensores y de convertidores, los cuales permiten medir magnitudes físicas que varíen con el tiempo de una forma más o menos rápida. Justamente en esta faceta los ordenadores pueden clarificar temas que frecuentemente son de difícil comprensión (como los conceptos de velocidad, aceleración, calor y temperatura) para los estudiantes cuando los presentamos de la forma tradicional, de forma magistral, sin mostrarles el proceso de elaboración mental, con sus aciertos y numerosos errores, que ha tenido que realizar el hombre, para poder acceder a estos conceptos.

La programación y la modelización fueron la primera aplicación de los ordenadores dentro del marco de la Física educativa.

Con la ayuda de los ordenadores podemos solventar algunos de los problemas que nos presentan las matemáticas en la mayor parte de los cursos de Física general. Las ventajas de los ordenadores inte-

ractivos son grandes, especialmente cuando estamos en el proceso de elaboración de un programa. Podemos teclear el programa, ejecutarlo, detectar los errores que tengamos, volverlo a ejecutar, volver a detectar otros errores que se nos pasaron inadvertidos en el proceso anterior, depurarlo y todo ello en un tiempo relativamente corto. El ordenador personal tiene una gran ventaja, lo tenemos disponible las 24 horas del día, sin necesidad de compartir su tiempo de utilización con nadie más. Sin embargo, este proceso presenta ciertas dificultades para el principiante. Ha de aprender un programa de alto nivel mediante el cual pueda darle instrucciones al ordenador. Debe conocer ciertos comandos del sistema operativo, especialmente los que conciernen al proceso de conectar el ordenador, de salvar, copiar y borrar ficheros. También ha de aprender a manejar un editor de textos para llevar a cabo, en el programa, las modificaciones pertinentes. Estas complicaciones pueden resultar una formidable barrera para los principiantes y por ello es preferible que se inicien con un lenguaje de programación de nivel intermedio, como puede ser el BASIC. Quizá más adelante los alumnos podrían familiarizarse con un lenguaje de programación más estructurado, como podría ser el Pascal. En el proceso de manipular un modelo para resolver un determinado problema, los estudiantes desarrollan una intuición sobre el aspecto concreto de la naturaleza que el modelo les está mostrando. Es en este sentido en el que los ordenadores realizan una excelente labor formativa para la cual las clases magistrales que impartimos no resultan la herramienta más adecuada, precisamente.

Para la realización de gráficos existe actualmente en el mercado un excelente software (Story Board, MacPaint, MacDraw, Harvard Graphics ...) que permiten realizar buenos dibujos y excelentes gráficos sin necesidad de desarrollar un programa, tan sólo es necesaria cierta habilidad manual y buen gusto a la hora de elegir colores y formas. Todos sabemos lo que gana una clase magistral o una conferencia científica o de divulgación cuando va acompañada de unos buenos gráficos.

Las comunicaciones son fundamentales en nuestra forma de vida actual, y en este aspecto el ordenador puede resultarnos un aliado formidable. Un ordenador personal con un modem permite el acceso a las redes electrónicas de información, mediante las que podemos tener acceso a numerosas bibliotecas, tanto de libros y artículos, como de programas. Por ejemplo, la AAPT (Asociación Americana de Profesores de Física) ha establecido un boletín informativo electrónico al cual se puede acceder telefoneando, mediante el modem del ordenador, al 07-1-301-454-2086, permitiendo a sus afiliados tener noticias puntuales de cualquier fenómeno de interés que ocurra, prácticamente, en cualquier punto del planeta. Actualmente se están desarrollando las redes digitales de servicios integrados,

RDSI, en las que además de caracteres alfanuméricos se podían transmitir imágenes y palabras. Estamos acercándonos a lo que el gran teórico de la comunicación Marshall MacLuhan denominó aldea global.

Hay una evidente analogía entre la educación y la nutrición (Taylor, 1988). Ambas disciplinas trabajan con sistemas complejos, una con la mente humana, y la otra con el cuerpo humano. Ambas tienen el mismo objetivo, aumentar el vigor y el crecimiento. Hasta ahora, la educación, concentrándonos en la asignatura de Física, tienen ciertos nutrientes básicos: libros de texto, clases magistrales, trabajo en casa, exámenes y laboratorio. Desde hace relativamente poco, se ha producido el advenimiento de un nuevo nutriente, el ordenador. Si queremos que la dieta educativa esté equilibrada, debemos hacer que todos los ingredientes vayan apareciendo en la confección de las diversas comidas. Periódicamente aparecen modas alimenticias que abrazan causas tan descabelladas como proponer dietas que contienen un único nutriente o bien un número muy reducido de ellos, poniendo en grave riesgo la salud de sus adeptos. A veces los educadores también ponemos en riesgo el proceso de aprendizaje de nuestros discípulos cuando utilizamos como casi único nutriente de la dieta educativa de nuestros alumnos las clases magistrales. Necesitamos una variedad de métodos para explicar nuestros programas, porque los receptores de ellas son también bastante diversos.

La educación es un proceso social, y la lentitud con la que suceden los cambios sociales hace difícil predecir los cambios en el proceso educativo a largo plazo. Los cambios sociales dependen, en su último estadio, de la mente humana, que es mucho más adaptable que el cuerpo humano. Seguramente nuestros antepasados podrían digerir, con pocas dificultades, la comida que nosotros ingerimos cada día. Sin embargo, mucho de lo que leemos, oímos y vemos sería totalmente incomprensible para ellos. Esto significa que a largo plazo la analogía entre nutrición y educación fallará. El hecho de que en la actualidad esa analogía funcione, nos está indicando que nos encontramos todavía en una etapa embrionaria en la aplicación de la tecnología al sistema educativo.

El uso de los ordenadores en la enseñanza de la Física está cambiando rápidamente debido a la potencia creciente de los ordenadores personales, sobre todo en sus capacidades gráficas, y a su bajada continua de precios. Actualmente se calcula que puede haber unos 250.000 ordenadores personales de propósito general en nuestros Colegios, Institutos, Escuelas Técnicas y Facultades, y este número está creciendo de forma prácticamente exponencial. Además la potencia de cálculo por unidad de coste de los ordenadores personales se está duplicando cada dos años. Probablemente no hay otra área de nuestra vida contemporánea que tenga una evolución tan

rápida y en la que la tecnología se quede obsoleta a tan elevado ritmo. Pero no todo es un camino de rosas en la andadura de los ordenadores. Los estudiantes se suelen quejar del precio de los libros de texto, del orden de las 7.500 pesetas; pero si tenemos en cuenta que se utilizan aproximadamente unas 150 horas, siempre y cuando se trabaje lo suficiente para aprobar la asignatura, resulta que cada hora de estudio les cuesta unas 50 pesetas. Las clases son también relativamente baratas, alrededor de 70 pesetas la hora, si no tenemos en cuenta los salarios de las personas implicadas ni la amortización de las instalaciones. Sin embargo, un ordenador es relativamente caro, alrededor de 100.000 pesetas y exige una instalación, un mantenimiento y una amortización para poderlo cambiar cuando se quede obsoleto.

“Hacer profecías es extremadamente difícil”, dice un antiguo proverbio chino, “especialmente respecto al futuro”. Sin embargo la previsible proliferación de los ordenadores personales en los entornos educativos causará una profunda revisión de la metodología didáctica, causando formidables cambios en los profesores, estudiantes y en el reto educativo contemplado como un conjunto. Se producirá un cambio sociotecnológico en los procesos de la construcción de los pensamientos, en los comportamientos de los individuos y en la organización y desarrollo de los grupos humanos. Únicamente la experiencia y el tiempo nos dirán si la introducción de los ordenadores en el proceso en el proceso educativo revolucionará realmente los caminos mediante los que enseñamos y aprendemos.

BIBLIOGRAFIA

- Collings, P.J. y Greenslade Jr., T.B., 1989, “Using the computer as a laboratory instrument”. *The Physics Teacher*, 27, 76-84.
- Fuller, R.F., 1986, “Computers in Physics Education”, libro publicado por la American Association of Physics Teachers.
- Taylor, E.F., 1987, “Comparison of different uses of computers in teaching physics”, *Physics Education*, 221, 202-211.
- Taylor, E.F., 1988, “Learning from computers about physics teaching”, *American Journal of Physics*, 56, 975-980.
- Wilson, J.M. y Redish, E.F., 1989, “Using computers in teaching Physics”, *Physics Today*, January, 34-41.