

TECNOLOGÍA INFORMÁTICA EN LA CLASE DE FÍSICA

Bernardo GÓMEZ M.

RESUMEN

Este artículo presenta algunas de las experiencias interesantes en la evolución de la informática en la enseñanza-aprendizaje de la física en los últimos treinta años, así como una visión para el futuro próximo con el impacto de la red global Internet en la educación. Se señala la importancia de la formación en ciencias en el mundo tecnológico-científico de hoy. Se tratan experiencias interesantes con los computadores para la docencia de la física y se observa lo que puede ser el futuro próximo con la red mundial.

INTRODUCCIÓN

Al concluir el siglo y el milenio vivimos tiempos maravillosos, producto de los increíbles avances tecnológicos que resultan de la alianza de la microelectrónica, las telecomunicaciones y la informática. Es la mayor y más rápida revolución en la historia. El cambio acelerado, debido a esta revolución teoinformática, nos confunde, cambia nuestro ritmo y estilo de vida, genera conflictos y nos lleva a situaciones desafiantes. En el mundo de hoy y del futuro próximo la importancia de los desarrollos tecnológicos es notoriamente creciente. Cada día dependemos más de las nuevas tecnologías y esto nos confunde, porque a veces, erróneamente, le damos demasiada importancia a las tecnologías, vivimos para ellas, cuando en realidad son producto de la cultura de nuestra época, un producto de los humanos para su propio bienestar.

IMPORTANCIA DE LA FORMACIÓN EN CIENCIAS

Las nuevas tecnologías inciden en nuestras vidas fuertemente y nos llevan a depender de ellas. Pero no tenemos que ser sus esclavos. Logramos dominarlas y ponerlas a nuestro servicio si las comprendemos, si conocemos de dónde provienen, cuáles son sus alcances y limitaciones. Y para esto debemos tener una formación suficiente en las ciencias que han dado lugar al desarrollo tecnológico. Leon Lederman, Premio Nobel de Física 1988, nos advierte [1]: "Ser un analfabeta científico en el siglo XXI supone una limitación semejante a la de no saber leer y escribir en la época actual."

Esencial en nuestro tiempo es entonces la educación, que debe incluir una suficiente formación en ciencias básicas, suficiente para sobrevivir en los tiempos modernos del mundo tecnológico-científico. Así en los colegios resulta de gran importancia el ofrecer una buena formación a todos los alumnos en las ciencias básicas, entre ellas las matemáticas y la física.

En Colombia, en varias ciudades, he tenido oportunidad de dictar conferencias divulgativas sobre el trabajo de investigación en física de altas energías, sobre la estructura más fundamental de la materia, los quarks, trabajo que con nuestro grupo de investigadores del Departamento de Física de la Universidad de los Andes realizamos conjuntamente con el Laboratorio Fermilab de Estados Unidos situado en Batavia, Illinois. En estas conferencias dirigidas a públicos muy diversos, he observado la profunda curiosidad de todas las personas por conocer y comprender “los secretos del universo”, “los secretos de la naturaleza”. Todos, independientemente de la edad, tienen la curiosidad de los niños por descubrir el mundo. Algunos hubieran querido ser físicos, pero las circunstancias no se lo permitieron, en especial en las matemáticas encontraron el obstáculo definitivo que los alejó de las ciencias naturales y los llevó a refugiarse en alguna actividad que “no tiene matemáticas”.

En nuestra sociedad, y esto se observa también a nivel mundial, existe el punto de vista erróneo, de pensar que “sólo los estudiantes más brillantes pueden estudiar exitosamente las ciencias naturales y las matemáticas”, o dicho de otro modo, que “estas materias son muy difíciles y de comprensión imposible para la mayoría”. Se piensa también que “no todos necesitan entender las ciencias y las matemáticas para tener éxito y contribuir constructivamente a la sociedad”. Estos son puntos de vista equivocados, en especial en nuestra época. Todos los niños en los colegios pueden y deben aprender ciencias, matemáticas y tecnología, para poder tener éxito en el mundo tecnológico-científico de hoy y de mañana.

EL DESAFÍO DE UNA MEJOR DOCENCIA

Todos los seres humanos tienen el deseo innato de aprender. Y todos lo pueden lograr si ofrecemos mejores condiciones para la formación de los individuos en los colegios y en las universidades, lo que será de alto beneficio para la sociedad.

Se requiere que los educadores hagamos mucho mejor nuestro trabajo de formación en ciencias, en matemáticas y en general en todas las áreas del conocimiento. Porque la realidad es que no lo estamos haciendo lo suficientemente bien. Citando una vez más al profesor Leon Lederman [2]:

“A nosotros en Fermilab nos interesa mucho la educación en ciencia y la ciencia en las naciones de América Latina. Juntos compartimos la convicción común que la ciencia crea tecnología y que la tecnología útil es la llave para sobrevivir en el siglo XXI. Es trágico que pocos de nuestros jóvenes se entusiasman por lo importante y lo emocionante que es la ciencia. Tenemos que hacerlo mucho mejor si queremos alcanzar a la gente joven: por su propio futuro como trabajadores en un mundo cada vez más tecnológico, por su papel crucial que desempeñarán como ciudadanos, y por aquellos pocos - preciosos, gloriosos y benditos jóvenes, quienes por el milagro del genio cambiarán el modo de pensar de nosotros los humanos.”

En los colegios y universidades de hoy, en el mundo entero, por lo general las clases de física se dictan como siempre se ha hecho: con tiza y tablero, cuaderno y texto, con un profesor que expone el tema y lo discute con los alumnos, trabajando todos juntos ejemplos de aplicación de la teoría en la forma de pequeños problemas que los alumnos resuelven en sus cuadernos o en el tablero, después de que el profesor ha dado las explicaciones necesarias y los alumnos han leído el texto. Típicamente en una primera etapa el profesor explica el tema, trabaja los ejemplos “diciendo y haciendo en el tablero” ante sus alumnos, luego en una segunda etapa el profesor “diciendo” asiste al alumno, mientras este “hace el problema en el tablero”. Finalmente el alumno

trabaja los problemas “diciendo y haciendo” él mismo en el tablero y luego en su cuaderno. Y todo esto se complementa con algunos experimentos, que los alumnos hacen en el laboratorio, como ayuda esencial a la clase de física. Pero los resultados no siempre son los mejores [3]. Mundialmente se observan dificultades serias en este sistema de enseñanza-aprendizaje con tiza y tablero, cuaderno y texto. Cada vez resulta más difícil llegar a los alumnos, captar su atención, con solo la tiza y el tablero. El texto es cada vez más pesado: las dificultades en la lectura y en la escritura son día a día más notorias. Los alumnos no aprenden lo esperado en clase [4]. Aparentemente sus capacidades intelectuales no son suficientes para el estudio de una materia de tan alto grado de dificultad como la física, lo que lleva a justificar la errónea creencia popular: “la física no es para todos, sino solo para unos pocos de inteligencia excepcionalmente alta”. Pero luego en casa, esos mismos alumnos encuentran la diversión: el vídeo y el computador, con juegos muy exigentes, que dominan con increíble habilidad, juegos tan sofisticados con imágenes tridimensionales tan complejas y movimientos tan rápidos que vencen a los adultos, incluyendo a los profesores de tiza y tablero, si se atrevieran a enfrentarlos. En pocos minutos en un juego computarizado los niños de hoy se enfrentan a desafíos intelectuales apreciables y manejan cantidades de información mucho mayores que las que encuentran en el tablero en una “clase difícil”. ¿Por qué no pueden entonces con las matemáticas y la física de la clase habitual? [5]

A las dificultades de captar la atención del alumno con tiza y tablero se agrega el problema del número elevado de alumnos en el salón, problema que lleva a que el alumno no encuentre la atención personal e inmediata que desearía recibir de su profesor. Es el problema de la masificación de la educación, con muchos alumnos, muchos salones, colegios muy grandes y poca atención individual. Y para completar, en los colegios los profesores caen frecuentemente en la rutina de dictar clases repitiendo textos, sin la motivación necesaria para entusiasmar a sus alumnos por el tema de clase. Encontramos profesores de ciencias que nunca han tenido la oportunidad de “vivir la ciencia”, de tener la vivencia de hacer investigación científica, de disfrutar el placer de alcanzar nuevo conocimiento. Con ellos la ciencia aparece como algo concluido, que se reporta en el texto de clase como un saber ya establecido como verdad absoluta, incuestionable, solo para ser memorizado y si mucho, aplicado al problema de texto alejado de toda realidad. En especial la física se toma entonces como una colección de fórmulas que, memorizadas, o copiadas en un comprimido, se aplican a los problemas del examen, donde no se requiere sino reemplazar unos valores en la fórmula adecuada. Así se desconoce que la ciencia es viva, que hay trabajo de investigación científica de frontera en el mundo. Así se cierran las oportunidades de estudio para los alumnos más capaces, que bien podrían hacer contribuciones significativas en la ciencia, si oportunamente encontraran el camino abierto hacia ella. Entonces, por el bien de estos jóvenes y de nuestra propia comunidad, como educadores tenemos que hacer mucho mejor nuestro trabajo: Es el más importante desafío de nuestra época.

BUSCANDO APOYO EN LA INFORMÁTICA

Inmersos como vivimos en las nuevas tecnologías, buscamos en ellas la solución a los problemas mencionados [6, 7]. Pero pasa el tiempo y aunque el progreso tecnológico es cada vez más impactante, los problemas en la enseñanza-aprendizaje continúan. Algunos se preguntan, identificando al computador con las nuevas tecnologías, ¿por qué a pesar del computador continúan las dificultades en la enseñanza-aprendizaje de la física? Si los computadores fueran la gran solución, ¿por qué no se ha logrado esa solución? Mundialmente se han hecho esfuerzos notables por hacer el mejor uso de los computadores para enseñar la física y los problemas continúan,

incluso se han agudizado en los últimos años, cuando en todos los continentes se observa una crisis en colegios y universidades en la docencia de las matemáticas y de la física. Particularmente en el caso de Colombia, las más recientes pruebas internacionales comparativas han llevado a resultados muy negativos sobre la calidad de la educación básica escolar en matemáticas y en física. Resulta urgente una mejora a fondo de la educación básica.

EXPERIENCIAS DE TREINTA AÑOS

El uso adecuado de las nuevas tecnologías informáticas en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias ha ido evolucionando con el tiempo, a medida que las capacidades de los equipos electrónicos han ido creciendo: ¡Aproximadamente cada dos años se duplican las capacidades de los procesadores de los microcomputadores! El avance ha sido formidable, pero apenas ahora se alcanza el umbral de una tecnología informática verdaderamente funcional para la educación. En todos los años anteriores los equipos por sus limitaciones de velocidad, memoria y capacidad de almacenamiento de datos, apenas permitían realizar experimentos sobre cómo en principio se puede aprovechar la informática en la educación. Pero apenas al concluir el siglo XX se puede lograr una aplicación extendida, de gran cobertura. Estamos así a las puertas de grandes cambios en la educación. ¿Qué podemos esperar en el futuro próximo? Para responderlo miro al pasado, recordando algunas de las experiencias interesantes en la evolución de la informática educativa en el área de la física:

A comienzos de la década de 1960, en la Universidad de Illinois, en Urbana-Champaign, Estados Unidos, se creó el sistema llamado PLATO, o "Platón", en honor al célebre filósofo griego [8]. Los estudiantes "dialogaban con el computador" sobre temas tratados en series de pequeños módulos, que de manera estructurada cubrían el curso completo de física o de astronomía [9], [10]. Para los cursos de física general PLATO presentaba problemas cercanos a la vida real, sin dar al estudiante información sobre las cantidades físicas requeridas para la solución. El estudiante mismo debía hacer un modelo físico aplicable al problema, hacer propuestas de solución, buscar qué cantidades eran necesarias para llegar a la solución y solicitarle a PLATO la información requerida. Cada módulo era prerrequisito del siguiente y el estudiante trabajaba con PLATO el tema del módulo hasta dominarlo y aprobar la evaluación propia del módulo, para así poder pasar al siguiente. Se destaca en PLATO el sistema de evaluación con retroalimentación inmediata para el estudiante sobre su rendimiento y estado de conocimientos sobre el tema tratado. Cuando PLATO surgió era la época de los "mainframes" y del comienzo de minicomputadores muy grandes y voluminosos, uno de los cuales se empleaba para ofrecer el servicio de PLATO a los estudiantes a través de grandes terminales con costosas pantallas de plasma con "gráficas de alta resolución" para la época. Hoy con equipos actualizados sobrevive en Illinois el PLATO, aunque con sus casi 30 años es ya un sistema muy antiguo, pero muy valioso como ejemplo de software educativo.

En la década de 1970 el software educativo encontró en los microcomputadores el "equipo ideal" con las características para el uso personal [11]. Típico y digno de recordar es el famoso Apple II+ con una enorme oferta de pequeños programas educativos, que en la física se limitaban a "pequeños micromundos", o "ambientes físicos", que presentaban una pequeña simulación con animación de los procesos, donde el alumno podía cambiar algunas condiciones variando los valores de los parámetros correspondientes y observando la respuesta en la pantalla. Se tenían retos que motivaban al alumno a hacer ensayos y experimentos virtuales en el ambiente dado. La evaluación del alumno era reducida y principalmente solo para uso personal del alumno, pues la

falta de redes dificultaba al profesor el acceso a la información de todos sus alumnos. Se trabajaba muy individualmente con microcomputadores aislados.

A comienzos de la década de 1980 se desarrolla el Apple Macintosh, que introduce el sistema operacional "amigable" con "ratón", "ventanas" y la "programación de eventos", donde en lugar de preguntas y respuestas entre la máquina y el usuario, el microcomputador está atento a la espera de la acción del usuario: un "clic" del ratón sobre un "icono" pone en marcha un proceso que se visualiza en la pantalla. Para el Macintosh en 1986 un físico español en la Universidad de Stanford, Blas Cabrera, se destaca en la docencia de la física, desarrollando un paquete de pequeños programas que de manera ejemplar aprovechan el sistema del Macintosh para crear ambientes de exploración controlados con el ratón [12]. Blas Cabrera simula desde el tiro parabólico en diversos medios, pasando por el movimiento de los planetas, de las moléculas de un gas, hasta visualizar los campos eléctricos y magnéticos de cargas en movimiento, las transiciones radiactivas en el átomo de hidrógeno, la interferencia, la difracción, o los efectos relativistas de dilatación del tiempo y contracción de longitud en un laboratorio espacial simulado en la pantalla. Hoy este software desarrollado para el primer Macintosh de 128K de memoria RAM, corre en su versión original en los Macintosh más modernos.

Siguiendo el ejemplo de Blas Cabrera en Stanford, aquí en la Universidad de los Andes, a finales de la década de 1980 tuve la oportunidad de trabajar conjuntamente con el grupo de Informática Educativa del Departamento de Ingeniería de Sistemas, con Alvaro Galvis y Olga Mariño, una serie de proyectos de micromundos para Macintosh, donde los estudiantes de sistemas generaban el micromundo, programando en Pascal para Macintosh. Luego en los cursos de física general los estudiantes de diversas carreras hacían uso de este software experimentando con modelos de osciladores armónicos, amortiguados, osciladores acoplados y otros sistemas mecánicos [13], [14]. Pronto descubrí que los usuarios del software uniandino además de hallar cierta diversión, sacaban cierto provecho de los programas, aprendiendo con los experimentos virtuales de los micromundos, pero no aprendían tanto como aquellos estudiantes que habían generado el micromundo, haciendo el estudio del sistema a simular y la programación. A partir de entonces en lugar de ofrecer a los estudiantes un "software hecho", con el micromundo creado, preferí presentarles el método computacional y dejar que ellos mismos con las herramientas más sencillas de uso popular desarrollaran su propio modelo, su propio micromundo, donde luego experimentan. La herramienta preferida desde entonces ha sido la hoja electrónica, el EXCEL por ejemplo [15], que rápidamente le permite al estudiante generar el modelo computacional, observar los resultados con magníficas gráficas y experimentar haciendo cambios en un modelo por él mismo desarrollado. Algo parecido se logra también con el STELLA [16], un laboratorio virtual de sistemas dinámicos, donde el usuario genera de manera gráfica en la pantalla el modelo que aplica la "dinámica de sistemas" de Jay Forrester [17].

Ahora en la década de 1990 en microcomputadores de mayor capacidad que el antiguo Macintosh, en equipos de 100 MHz y 16 MBytes de memoria RAM, los estudiantes de los cursos de física corren herramientas computacionales más poderosas, como Mathematica [18], Matlab [19], Mathcad [20], que con amplios recursos matemáticos ofrecen maravillosas posibilidades de explorar la belleza de los procesos físicos, con preciosas visualizaciones en la pantalla. Gracias los computadores se reconoce la importancia de la visualización de los procesos físicos para comprender la naturaleza. Al alcance de los estudiantes está hoy tanto el hardware como el software adecuado para el estudio de pequeños sistemas, pues para tareas mayores sigue siendo necesario el computador mayor, incluso el supercomputador como el Cray.

Herramientas poderosas como Mathematica y Matlab son óptimas en las clases de física a nivel universitario, pero van más allá de lo adecuado para la educación básica en los colegios. A nivel escolar, para la enseñanza-aprendizaje de la física, se tiene herramientas como Interactive Physics [21] y Modellus [22], con las cuales fácilmente se generan modelos de sistemas físicos con magníficas animaciones y gráficas de las relaciones entre las diversas cantidades físicas del sistema simulado. Estas herramientas son hoy el estándar mundial en software educativo para la física, a nivel escolar, pero también para los primeros semestres universitarios, para los cursos de física general [23].

Pero está también el computador como herramienta de laboratorio, de tanta importancia para la física. Ya desde finales de los años 70 el Apple II+ se presentaba también como un equipo para hacer mediciones en el laboratorio, gracias a su puerto de juegos de fácil acceso, que permitía conectar diversos equipos de medición. Así el microcomputador mismo medía frecuencias, tiempos, corrientes y voltajes, y a partir de estas mediciones básicas, con diversos sensores adecuados era posible medir velocidades, aceleraciones, temperaturas, etc., con la ventaja adicional de la representación gráfica en la pantalla y de la capacidad de almacenamiento de los datos medidos en disquetes. Desde entonces los diversos fabricantes de equipos de laboratorios incluyen interfaces, sensores y software para mediciones y adquisición de datos con microcomputadores, con Apple II, con PCs y con Macintosh [24]. El microcomputador es así un excelente equipo de medición para el laboratorio de física. Pero no debemos olvidar que los alumnos como parte de su formación deben aprender a hacer las mediciones independientemente del computador, con los instrumentos de mano, registrando los datos a mano en sus cuadernos de informes de laboratorio, haciendo ellos mismos las representaciones gráficas, analizando los datos, evaluando los resultados, todo sin el computador. Apenas cuando los alumnos dominen estos procedimientos "manuales" de laboratorio es cuando conviene pasar a la ayuda del computador.

INTERNET : EL MAYOR IMPACTO EN LA EDUCACION

Estamos a las puertas del siglo XXI y los computadores son hoy ya una herramienta sólida, confiable, relativamente de bajo costo, al alcance de las universidades, de los colegios, de los profesores, de los estudiantes. Hoy hablamos de equipos típicos de 400 MHz, de 64 MBytes de memoria RAM. Pronto para empezar el próximo siglo se alcanzarán los 1000 MHz. Se trata de equipos suficientemente poderosos para responder a las más altas exigencias en la enseñanza-aprendizaje de la física. Y con el bajo costo, el equipo estará disponible en número suficiente en las instituciones educativas. Es entonces cuando verdaderamente empezará a tener incidencia significativa en la educación básica.

Pero la razón principal, por la cual es apenas ahora, cuando el computador puede tener un impacto en la educación como nunca antes, está en las comunicaciones, en la red mundial, que llamamos Internet y que verdaderamente cambia el mundo e incide de manera importante en la educación, probablemente más que cualquier otro factor tecnológico o metodológico [25]. Con el Internet el computador no es simplemente la máquina que muele números. Hoy es el navegador en el océano mundial de la información, una verdadera ventana al mundo. ¿Cómo incide esto en la clase de física? Recordemos que uno de los serios problemas que presentan las clases de física en los colegios está en la actitud indiferente del profesor por la ciencia viva que es la física, ignorando la investigación de frontera que se realiza en el mundo y presentando la física sólo como un paquete de fórmulas para memorizar. Ignorar que la física es la mayor aventura del intelecto humano, que es la eterna búsqueda del conocimiento sobre lo más fundamental del universo, es perderse de lo

esencial de esta ciencia. Pues ahora con el Internet, tanto los profesores como los alumnos tienen la "línea directa" con todos los grupos de investigación del mundo, que a través de sus páginas de la red mundial presentan sus investigaciones a todos los interesados. Nunca como ahora habían estado alumnos y profesores tan cerca de los científicos que hacen la investigación de frontera en laboratorios y universidades en todos los continentes, en todos los países, incluyendo a Colombia. El Internet permite así enterarse directamente de la fuente, de los científicos, de sus páginas de la red mundial, sobre la investigación de hoy, sobre los resultados más recientes [26, 27, 28]. ¡Así podemos ser testigos y partícipes de la apasionante aventura intelectual de la ciencia de hoy!

El Internet contribuye, además, a acercar a todos los profesores de física del mundo, quienes reconocen que no están aislados con sus problemas pedagógicos, sino que forman parte de una comunidad global de maestros de física, todos con inquietudes similares que desean compartir, así como comparten también material didáctico que ellos mismos van generando y que ahora, gracias al Internet, puede ser de circulación mundial [29, 30, 31].

Pero el poder del Internet es mayor aún: Utilizando software de dominio público y de fácil acceso a través de la red, con "applets" de Java y "plugins" de Netscape, es posible generar micromundos y ambientes didácticos con simulaciones interactivas, que se pueden correr desde cualquier lugar del mundo, navegando en la red mundial. Así, los micromundos de la década pasada, que estaban limitados al aislamiento de cada microcomputador, están hoy en una red de alcance global y con facilidades de texto, imágenes, sonido y animación, y todo compatible con cualquier equipo de cómputo conectado al Internet. Así por ejemplo podemos aprender sobre las leyes de la mecánica desde Missouri, St.Louis [32], o sobre óptica desde Postdam, Alemania [33], o sobre la estructura más fundamental de la materia desde Berkeley, California con la "Aventura de Partículas"[34], o podemos hacer un curso de astronomía desde Ames, Iowa [35].

También el antiguo sistema de evaluación de los usuarios del PLATO de la Universidad de Illinois, es ahora posible a nivel mundial. El Internet permite con programas CGI y applets de Java hacer el seguimiento de las respuestas de los alumnos que accesan un cuestionario para presentar un examen vía Internet, recolectando las respuestas, evaluándolas y retroalimentando inmediatamente a los alumnos con información sobre su rendimiento y conocimientos demostrados, y esto con alumnos que pueden estar en cualquier lugar del mundo [36].

Llevando la física a la red mundial, compartiendo globalmente el material de enseñanza y las experiencias de las clases de física, ofreciendo participación mundial a los usuarios de las páginas de red creadas con datos, ejercicios, problemas de física y simulaciones interactivas, tenemos una de las herramientas educacionales más poderosas y eficientes, que bien pueden a mejorar la enseñanza-aprendizaje de la física mundialmente.

REFERENCIAS

- 1 LEDERMAN, L. (1984). The Value of Fundamental Science. *Scientific American*, **251** (5), p.40-47.
- 2 LEDERMAN, L. (1987). Fermilab Sponsors a Mini-Course in Mexico City on the Teaching of Modern Physics. *Fermilab Report*, **87** (7), p.2-6.
- 3 McDERMOTT, L.C. (1993). How we teach and how students learn ñ A mismatch ? *American Journal of Physics*, **60** (4), p.295.
- 4 McDERMOTT, L.C. (1991). What we teach and what is learned : Closing the gap. *American Journal of Physics*, **59** (4), p.301.
- 5 PAPERT, S. (1995). *The childrens machine. Rethinking school in the age of the computer*. Nueva York : Basic Books. Harper Collins Publishers, Inc.

- 6 MOORE, S. y GOMEZ, B. (1985). *La Revolución Informática en la Educación*. Bogotá : Editorial Informática.
- 7 McDERMOTT, L.C. (1990). Research and computer-based instruction : Opportunity for interaction. *American Journal of Physics*, **58** (5), p.452.
- 8 [Http ://www.cbi.umn.edu/inv/uillcerl.htm](http://www.cbi.umn.edu/inv/uillcerl.htm). (University of Illinois, Urbana-Champaign, Computer-based Education Research Laboratory).
- 9 SHERWOOD, B.A. (1971). Free-Body Diagrams (A PLATO Lesson). *American Journal of Physics*, **39** (10), p.1199-1202.
- 10 AVNER, E.S. (1971). Two Astronomy Dialogs. *American Journal of Physics*, **39** (12), p.1545.
- 11 BORK, A.M. (1981). Learning with Computers. Bedford, Massachusetts : Digital Press.
- 12 CABRERA, B. *et al* (1986). *Physics Simulations Vol. 1, 2, 3*. Santa Barbara, California : Kinkois Academic Courseware Exchange.
- 13 GOMEZ, B. (1990). El microcomputador : Versátil herramienta en los cursos de física. *Informática Educativa*, **3** (2), p.105-119.
- 14 CORTES, G. *et al* (1990). SimLab, Osciladores Armónicos, Trabajo y Energía, Velocidad, Aceleración y Movimiento Circular. *Software educativo Latinoamericano para Macintosh*. Cupertino, California : Apple Latin America.
- 15 GOMEZ, B. (1990). Estados ligados estacionarios. *El Tambor de Feynman*, **1** (2), p.47-63.
- 16 [Http ://www.hps-inc.com/products/STELLA/](http://www.hps-inc.com/products/STELLA/) (STELLA, High Performance Systems, Inc.).
- 17 GOMEZ, B. (1989). Simulaciones y dinámica de sistemas en la enseñanza de la física. *Memorias del II Simposio Nacional sobre Enseñanza de las Ciencias*. Bogotá : Universidad Pedagógica Nacional.
- 18 WOLFRAM, S. (1993). *Mathematica : A System for Doing Mathematics by Computer*. Reading, Massachusetts : Addison-Wesley Publishing Company.
- 19 ETTER, D. M. (1993). *Engineering Problem Solving with MATLAB*. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice Hall , Inc.
- 20 DONNELLY, D. (1992). *MathCAD for Introductory Physics*. . Reading, Massachusetts : Addison-Wesley Publishing Company.
- 21 [Http ://www.krev.com/products/ip.html](http://www.krev.com/products/ip.html) (Interactive Physics, Knowledge Revolution).
- 22 [Http ://www.krev.com/products/modellus.html](http://www.krev.com/products/modellus.html) (Modellus, Knowledge Revolution).
- 23 DUARTE, V. (1997). *Exemplos no Modellus*. Lisboa, Portugal : Didáctica Editora.
- 24 PASCO SCIENTIFIC (1995). *Physics Experiments, Apparatus and Computer Interfaces*. Roseville, California : Pasco Scientific.
- 25 WALLIN, J. F. (1998). Distance Learning and the World Wide Web. *Computers in Physics*, **12** (4), p.322-327.
- 26 [Http ://www.colciencias.gov.co/](http://www.colciencias.gov.co/) (Colciencias, Colombia).
- 27 [Http ://www.nsf.gov/](http://www.nsf.gov/) (National Science Foundation, Estados Unidos).
- 28 [Http ://www.aps.org/](http://www.aps.org/) (American Physical Society, Estados Unidos).
- 29 [Http ://www-hpcc.astro.washington.edu/scied/physics/physresearch.html](http://www-hpcc.astro.washington.edu/scied/physics/physresearch.html) (Direcciones de páginas de red especializadas en docencia de la física.)
- 30 [Http ://physics.umd.edu/ripe/edu.html](http://physics.umd.edu/ripe/edu.html) (Univ. Maryland, Research and Innovation in Physics education).
- 31 [Http ://www.phys.washington.edu/groups/peg](http://www.phys.washington.edu/groups/peg) (Univ. Washington, Physics Education Group).
- 32 [Http ://newton.umsl.edu/~run](http://newton.umsl.edu/~run). (Univ. Missouri, St. Louis, Acceleration Solver).
- 33 [Http ://www.uni-potsdam.de/u/physik/didaktik/project/](http://www.uni-potsdam.de/u/physik/didaktik/project/) (Univ. Potsdam, Alemania, óptica).
- 34 [Http ://pdg.lbl.gov/cpep/adventure.html](http://pdg.lbl.gov/cpep/adventure.html). (Particle Data Group, Berkeley, California, Particle Adventure).
- 35 [Http ://www.cnde.iastate.edu/staff/jtroeger/astronomy.html](http://www.cnde.iastate.edu/staff/jtroeger/astronomy.html). (Ames Lab., Iowa, Astronomy Course).
- 36 TITUS, A.P. *et al* (1998). Web-Based Testing in Physics Education : Methods and Opportunities. *Computers in Physics*, **12** (2), p.117-123.