

OTROS TRABAJOS



LA UTILIZACIÓN DEL ORDENADOR EN LA REALIZACIÓN DE EXPERIENCIAS DE LABORATORIO

HERRÁN MARTÍNEZ, C.¹ y PARRILLA PARRILLA, J.L.²

¹ IB Gran Capitán. Madrid.

² Programa de Nuevas Tecnologías, MEC, Madrid.

SUMMARY

In this work we expose the principles and teaching impact of the applications of the computer means to carry out the real experiments in the teaching laboratory.

Desde la segunda mitad de la década de los 80 se asiste a una creciente utilización de los medios informáticos en las actividades educativas; junto con las aplicaciones educativas de los programas de «propósito general» (procesadores de texto, hojas de cálculo, bases de datos, programas de dibujo y de diseño asistido) y las aplicaciones disciplinares específicas, las englobadas en la

denominada EAO (enseñanza asistida por ordenador), hay un tercer tipo de aplicación en la enseñanza de las ciencias experimentales, que puede denominarse como laboratorio asistido por ordenador (LAO).

Este último tipo de aplicaciones posibilita modificar sustancialmente los objetivos de aprendizaje del trabajo

experimental del alumnado, y a la vez incidir positivamente en las actividades y expectativas del profesorado. No hay que olvidar que junto a las actividades en el aula, en el aprendizaje de las ciencias experimentales, la realización de actividades prácticas en los laboratorios es imprescindible para la consecución de los objetivos educativos en las disciplinas correspondientes. Es en este contexto donde se produce la integración del medio informático que propugna el laboratorio asistido por ordenador (LAO).

El Programa de Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (PNTIC) del MEC no ha sido ajeno a la innovación que suponen los medios citados; así, en el curso 1989-90 se inició el denominado Proyecto LAO que se extiende a los centros de enseñanza secundaria bajo administración del MEC y que están acogidos al Proyecto Atenea. El objetivo fundamental del Proyecto LAO es dotar e incentivar la utilización de los medios informáticos en los laboratorios de los institutos de bachillerato y de formación profesional. En la actualidad 168 centros están desarrollando el citado proyecto, disponiendo de un equipamiento aplicable tanto a experimentos de física y química como de ciencias naturales.

LAS APLICACIONES DEL PROYECTO LAO Y LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES

El proceso científico experimental de indagación de los fenómenos naturales comprende una serie de etapas que cubren desde la observación de los fenómenos y la consiguiente interrogación-formulación de hipótesis acerca de sus orígenes y características hasta el diseño y ejecución de experiencias controladas con el correspondiente registro y análisis matemático de los datos experimentales. La conclusión de este proceso es el rechazo o la confirmación de las hipótesis realizadas y, en este último caso, la comunicación pública de los resultados.

La enseñanza de las ciencias experimentales debe necesariamente contemplar tres componentes: el aprendizaje de los contenidos conceptuales, el aprendizaje de los procedimientos propios de la resolución de problemas numéricos y, una tercera, característica e ineludible para el profesorado que es la consecución de los objetivos generales de aprendizaje en la realización de experiencias de laboratorio que, considerando lo referido en el párrafo anterior, pueden catalogarse en:

- Reforzar la comprensión de los contenidos conceptuales.
- Contribuir a la modificación de las concepciones previas o innatas de los alumnos acerca de la explicación de los fenómenos naturales más relevantes.
- Establecer el desarrollo de destrezas y procedimientos específicos del trabajo experimental.
- Fomentar actitudes positivas hacia la actividad científica.

- Poner a los alumnos en contacto con la tecnología y sus aplicaciones, en condiciones parecidas o idénticas al mundo productivo.

Para la realización de experiencias programadas en los laboratorios de enseñanza, el profesor generalmente entrega a los alumnos o bien un guión de la práctica o bien un manual, donde se refiere la pauta a seguir para la realización de cada práctica. La necesidad de que la actividad experimental, en su totalidad o por lo menos hasta completar la fase de toma de datos, se ciña a una sesión lectiva (1 hora en enseñanza secundaria y del orden de 2 horas en la enseñanza universitaria), ha justificado el hecho de que los guiones tengan unas características semejantes a verdaderas *recetas de laboratorio*, estructurados según la forma siguiente:

- Elección *dada* del problema experimental.
- Diseño experimental *cerrado e impuesto*.
- Montaje experimental guiado de acuerdo con una *rutina dada*.
- Procedimientos *tediosos* de toma de datos, por prolongados o por repetitivos.
- Análisis matemático *guiado* de los datos (estadístico y gráfico).
- Conclusiones *casi elaboradas*.

En las experiencias realizadas según estas pautas, la parte mayoritaria de la distribución temporal de las actividades de los alumnos en los laboratorios, corresponde a la toma de datos y a su procesamiento matemático, en detrimento del análisis del diseño de la experiencia y de la libre elaboración de conclusiones, para lo que se necesitaría la posibilidad de poder realizar una retroalimentación en relación al diseño y a las condiciones iniciales de la experiencia. Dada la situación referida, en la actualidad las experiencias de laboratorio pueden calificarse generalizadamente como *prácticas de confirmación*, y no de indagación, no de *pequeñas investigaciones* como sería deseable para la consecución de los objetivos de aprendizaje.

La introducción del medio informático para la realización de *experiencias reales no simuladas en los laboratorios* posibilita modificar radicalmente la situación descrita, y es el tema de numerosos trabajos publicados en las revistas especializadas, como es el caso de los siguientes trabajos citados en la bibliografía: Amend y otros (1989 y 1990), T.R. Bross (1986), P.J. Collings y T.B. Jr. Greenslade (1989), A.E. Cordes (1990), C. Herrán y J.L. Parrilla (1992), C.A. Kocher (1992), I.S. Mackenzie (1988), L.T. Rogers (1987), J. Scaife (1993), R.K. Thornton (1987), A. Winders y B. Yates (1990).

Los fundamentos de las aplicaciones LAO en las que se utiliza el ordenador como instrumento de medida y análisis de los datos registrados pueden resumirse como se explica a continuación.

Fundamento instrumental

- El ordenador contiene un microprocesador que tiene una secuencia temporal que es programable y puede, por tanto, en un principio, almacenar registros temporales digitales bajo el control programado de interruptores y dispositivos eléctricos.

- Por medio de un *convertidor analógico-digital (ADC)*, que transforma una señal eléctrica que varía de forma continua en una sucesión de impulsos digitales, el microprocesador del ordenador puede actuar de hecho como un voltímetro de alta impedancia de entrada, esto es, que cuando se utiliza para realizar una medición perturba mínimamente el circuito eléctrico bajo estudio.

- Por medio de dispositivos adecuados, denominados genéricamente *sensores*, el ordenador-voltímetro puede medir y permite visualizar las variaciones de magnitudes físicas no eléctricas (posición, temperatura, iluminación, etc.).

Fundamento de programación

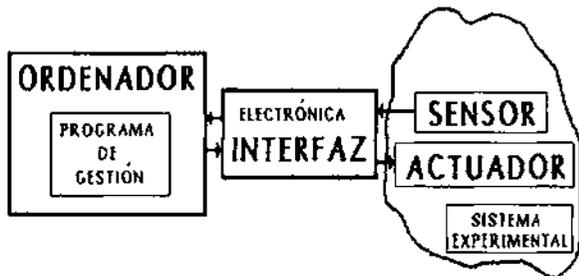
- La aplicación de un programa informático adecuado hace posible recoger, almacenar y analizar grandes cantidades de información y a gran velocidad.

- El programa informático posibilita que los *periféricos* realicen su misión de medida y control, previo calibrado, ya sea manual o automático.

DOTACIÓN DE LAS APLICACIONES DEL PROYECTO LAO

La dotación básica correspondiente a los equipamientos del proyecto LAO estaría formada por:

Elementos informáticos	Periféricos
Ordenador	Interfaz
Impresora	Sensores
Programa de gestión	Actuadores



Esquema de bloques del proyecto LAO

El programa de gestión

Es deseable que el *programa de gestión* sea una herramienta eficaz para el usuario en lo referente al *calibrado, realización de medidas, almacenaje y análisis de los datos obtenidos*. Recogiendo estas utilidades, existen dos tipos de programas de LAO: los de *utilidad general*, que son aplicables para todo tipo de experiencias, y los *específicamente diseñados* para un tipo concreto de experiencias disciplinares (valoraciones, conductimetrías, colisiones, electrocardiogramas, etc.).

Los requerimientos óptimos de un programa de gestión de LAO, dado su objetivo didáctico, pueden cifrarse en:

- *Sencillez de manejo*: Con un conjunto de instrucciones simples que no exijan del usuario una fuerte preparación informática.

- *Interactividad*: De tal forma que el usuario, a partir de los datos «en bruto», sea el diseñador de su procesamiento estadístico y gráfico, huyendo de todo automatismo en la obtención de los resultados numéricos y en la elaboración de las conclusiones.

- *No automático*: Que permita que el usuario explore entre variadas relaciones matemáticas y entre diferentes representaciones gráficas, a la hora de la manipulación de los datos registrados.

- *Flexibilidad*: Para que mediante la «exportación» de los datos registrados a otros programas más potentes, como por ejemplo las *hojas de cálculo* de *works* o *lotus*, permita al usuario que realice análisis más refinados; este requerimiento es importante con el fin de ofrecer al usuario alternativas analíticas de acuerdo con su formación informática.

Generalmente los programas de utilidad general cumplen mejor el conjunto de estos requerimientos, ya que en los programas específicos los datos registrados se suelen recoger en una forma ya definida para su análisis, que suele estar muy concretado de acuerdo con los objetivos del programa; precisamente por este motivo, estos últimos programas tienen una utilidad plena para las aplicaciones avanzadas, cuyos objetivos específicos no se corresponden con la investigación de conceptos científicos básicos, y sí con la obtención de unos resultados numéricos o la comprobación de un determinado comportamiento, asumiendo a priori la certeza de una ley física o química dada.

El interfaz

El *interfaz* es el puente entre el sistema empírico real y el mundo electrónico del ordenador. Puede considerarse como el instrumento clave del equipo debido a su cuádruple papel:

- *Intérprete/traductor* en la cadena de información, entre el «lenguaje» analógico de los sensores y el del ordenador, que es digital.

– *Controlador* del funcionamiento de las transmisiones de información entre todos los integrantes de la cadena de adquisición de datos.

– *Vigilante e informador* de las posibles anomalías en los sensores, a los que protege de sobrecargas.

– *Reconocimiento, alimentación y calibración* de los sensores, tareas que realiza automáticamente.

A los interfaces que cumplen las misiones anteriores se les adjetiva como *inteligentes*; en ellos las conexiones de los sensores se realizan por medio de *módulos adaptadores específicos* para posibilitar que el interfaz cumpla las tareas referidas. Estos módulos también garantizan la adaptación del interfaz a diferentes sensores.

Las prestaciones de un buen interfaz serían las siguientes: entradas y salidas analógicas y digitales; medidor de frecuencias; reloj interno que permita las medidas en tiempo real; rango +/- de tensiones; y relé para garantizar la correspondencia entre el inicio del experimento y la toma de datos. Así mismo es obvio que es exigible una adecuada precisión, que está asociada al tamaño y número de los intervalos del muestreo realizado por los convertidores analógicos-digitales (AD/C) como por los digitales-analógicos (DA/C), dispositivos que aseguran el flujo de información, en los dos sentidos, desde los sensores al ordenador.

Junto con estas prestaciones básicas, a la hora de tomar una decisión acerca del equipo más adecuado, deben considerarse otras características del interfaz, tales como:

– *Flexibilidad*: Que se adapten a diferentes experimentos mediante la utilización de los correspondientes sensores.

– *Compatibilidad*: Que las conexiones con los sensores no sean de un formato exclusivo del fabricante y sí sean compatibles con material del equipamiento general de los laboratorios, lo cual es fundamental para posibilitar la extensión y el intercambio de las aplicaciones de LAO, lo que favorece el desarrollo de la investigación por parte de profesores y alumnos.

– *Economicidad* en un doble sentido si consideramos su finalidad didáctica: que las relaciones (prestaciones/premio y solidez de las configuraciones de los instrumentos/tamaño) sean las más altas posibles para asegurar la posibilidad de su extensión a un mayor número de centros y la durabilidad de los componentes.

En el bloque electrónico correspondiente al interfaz hay que considerar la posible existencia separada de una *tarjeta de comunicación*, que se colocaría en una *ranura de expansión* del ordenador y que sería el elemento puente entre el interfaz y el ordenador; contendría tanto los AD/C como los DA/C. En este caso, la capacidad disponible de memoria de los datos registrados, que llegan desde el interfaz por un puerto paralelo, es la de la memoria RAM del ordenador, lo que repercute favorablemente en la inmediatez para analizar los datos registrados.

En el caso en que la tarjeta se coloque físicamente en el interfaz, éste se comunica con el ordenador por un puerto serie, lo que permite una universalización de la conexión del interfaz con cualquier equipo informático, y además permite que el interfaz, junto con los sensores, sea autónomo respecto del ordenador, de tal manera que no es necesario que esté conectado físicamente a éste para que pueda realizar sus funciones de medición; mediante la conexión del interfaz al ordenador se pasarían de los datos registrados a éste para realizar el análisis pertinente. Esta posibilidad de disponer interfaces autónomos es de gran importancia principalmente en biología y geología, para la realización de *experimentos de campo*; en Gran Bretaña, por ejemplo, los principales fabricantes de estos equipos se han decantado decididamente por este tipo de componentes.

Sensores y actuadores

Los *sensores* son *transductores*, dispositivos que transforman las variaciones de una magnitud medible no eléctrica en una señal eléctrica analógica, es decir, en una variación de tensión que es recogida por el interfaz; los *actuadores* serían dispositivos que realizan la transformación inversa, una señal eléctrica originaría un estímulo no eléctrico en el mundo real. Un tipo de sensores que suministran directamente una señal digital son las puertas fotoeléctricas, sensibles al corte por un móvil de un haz infrarrojo. Un micrófono o una fotocélula LDR, por ejemplo, son sensores, mientras que un altavoz o un diodo LED serían actuadores.

En las dotaciones habituales de los equipos de LAO se consideran sensores de conductimetría, iluminación, intensidad del sonido (micrófono), pH, sonda de oxígeno, temperatura, los electrodos necesarios para la realización de electrocardiogramas (ECG), electromiogramas (EMG), encefalogramas (EEG), etc.; el interfaz además puede medir directamente tensiones, lo que permite «diseñar» sensores relacionando variaciones de tensión con variaciones de la magnitud que se desea registrar y así, por ejemplo, el extremo móvil de un puente de hilo puede utilizarse como sensor general de movimiento.

Algunas de las *características* de un sensor que deben considerarse para su adecuada utilización serían, por ejemplo, su *sensibilidad* respecto de los cambios en la magnitud no eléctrica, su *precisión* para la resolución y reproducibilidad de las medidas, su *estabilidad* en mantener la respuesta, su *nivel de ruido* sobre el que se discriminan las variaciones medibles de la magnitud considerada, su *tiempo de respuesta* a las variaciones bruscas de la magnitud medida y su *histéresis* o la dependencia de la respuesta respecto a las mediciones previas.

IMPACTO DIDÁCTICO DE LAS APLICACIONES DEL PROYECTO LAO

Para analizar las repercusiones que representan los equipamientos de LAO en la enseñanza de las ciencias experi-

mentales, es necesario previamente reseñar cuáles son las aportaciones más inmediatas y visibles de estos sistemas para la realización de experimentos de laboratorio:

– Dan lugar a la *ampliación de la gama de experiencias realizables*, desde aquéllas que requieren intervalos temporales muy cortos y que involucran órdenes de magnitud inalcanzables por la instrumentación «tradicional», como por ejemplo el estudio de reacciones químicas oscilantes o de efectos de inducción electromagnética, a las que requieren días, como ocurre en el estudio de sistemas biológicos.

– Incrementan la *calidad de las medidas* debido a que, respecto a las experiencias realizadas con equipamientos «tradicionales», tienen *mayor*:

* *rapidez* de adquisición de datos significativos;

* *facilidad* en la toma de datos, dado que no hay que preocuparse por las tasas de variación u órdenes de magnitud involucrados;

* *cantidad* de datos registrados, que sea compatible con la *memoria* del sistema;

* *seguridad* en la adquisición de datos, ya que una vez lanzado el experimento se limita la influencia de factores distorsionadores de la medición, y que son ajenos al propio sistema experimental.

– Consiguen lo que se ha denominado un *registro de datos informativo* en cuanto que su adquisición va frecuentemente asociada de forma inmediata con la representación gráfica de los mismos, lo cual implica una mayor *facilidad y rapidez* en su interpretación, favoreciendo el establecimiento de una relación tangible entre las manipulaciones experimentales concretas y la formalización de los resultados empíricos, que en los experimentos «tradicionales» sólo se realiza después de un apreciable espacio de tiempo.

– Permiten la constitución de *bibliotecas de registros experimentales* con los correspondientes análisis gráficos y estadísticos, y cuya disposición en discos magnéticos favorece un mayor intercambio y comunicación de los resultados experimentales, amén de la economía de espacio que supone su almacenamiento.

De las características anteriores se deriva que, para una experiencia dada, el efecto notable más inmediato se manifieste sobre las fases de registro, análisis de datos y elaboración/comunicación de conclusiones, y este efecto provoca un cambio cualitativo respecto a las aportaciones pedagógicas de las experiencias de laboratorio realizadas «tradicionalmente». Como las actividades señaladas anteriormente se simplifican y agilizan enormemente, se posibilita la configuración de una *nueva redistribución temporal de las sesiones de prácticas*, en la que se produzca una *enfaticación de las etapas fundamentales del trabajo científico experimental: la discusión acerca del diseño de las experiencias y la elaboración de conclusiones a partir del análisis de los datos registrados*.

Ejemplos concretos de las posibilidades educativas que tienen los *equipos LAO* se detallan en las referencias bibliográficas de R. Baum (1993), S.G. Eckstein (1993), C. Herrán (pendiente de publicación), y C. Barrio Alonso y A. Bayón (1992). Esta última referencia es una obra colectiva que recoge un total de 46 experimentos realizados con equipamientos de LAO, y que abarcan las cuatro disciplinas fundamentales que integran el área de ciencias de la naturaleza, en niveles de aplicación que corresponden desde la ESO hasta el bachillerato. Están realizadas por un total de 38 profesores y profesoras en 25 de los primeros centros que dispusieron de estos equipos de laboratorio.

Recordando los ya citados *objetivos didácticos generales* del trabajo experimental en los laboratorios didácticos, la aportación pedagógica de las dotaciones de LAO podrían resumirse según la tabla que hay a continuación.

Es importante resaltar que, junto con las aportaciones pedagógicas sobre los alumnos, los diseños experimentales en el ámbito LAO tienen un efecto adicional sobre el profesorado de ciencias experimentales, y es el *fomento e incentivación de sus expectativas investigadoras*, que en el momento actual están muy restringidas por el limitado alcance de la dotación instrumental de los centros docentes no universitarios.

Ahora bien, no puede ocultarse que, en ciertos sectores del profesorado no universitario, la utilización de los equipamientos de LAO produce lo que se denomina como *intimidación informática*, actitud que se basa en la creencia de que es necesaria para su manejo una previa e intensa especialización tanto informática como electrónica. Esta circunstancia puede producir un bajo rendimiento en la utilización de las dotaciones, y hace aconsejable que el profesorado interesado reciba, previamente a la recepción de los equipamientos de LAO, un curso de formación en su fundamento y aplicación.

No hay que olvidar que junto a los indudables beneficios didácticos pueden producirse también *peligros pedagógicos* derivados de una utilización deformada o abusiva, que suele ser el resultado del acaparamiento de las actividades del laboratorio por el equipo informatizado. Estos peligros se corresponden con una interpretación errónea basada en la creencia de que, porque sea posible medir más y mejor, los objetivos educativos y científicos del trabajo en los laboratorios se alcanzan automáticamente, produciendo en los alumnos una falsa impresión de juego, magia o de automatismo.

Como detalle interesante y que no es trivial, aunque aparentemente parezca paradójico, se suele expresar simplificada mente que el comando más importante de los sistemas instrumentales de LAO, el que permite mantener el «dominio» y control del experimentador sobre el sistema de medición, es la tecla *stop*, la que permite al experimentador interrumpir el desarrollo de un proceso mal concebido y realizar la consiguiente evaluación de la experiencia fallida, sin esperar a que finalice el experimento.

Objetivos didácticos generales <i>versus</i> aportaciones pedagógicas de las aplicaciones LAO	
Reforzar la comprensión de los contenidos conceptuales.	No reemplaza al experimentador en la preparación, diseño y dirección del proceso experimental, y sí permite que aumente su concentración en los aspectos más creativos de la investigación científica.
Contribuir a la modificación de las concepciones previas o innatas de los alumnos acerca de la explicación de los fenómenos naturales más relevantes.	Debido a la posibilidad de realizar rápidas y cómodas repeticiones de las experiencias para confirmar o modificar las hipótesis realizadas y de explorar relaciones matemáticas rápidamente visualizables, el experimentador puede tener un papel activo y constructivo en el aprendizaje de los contenidos científicos.
Desarrollar y reforzar destrezas y procedimientos específicos del trabajo experimental.	La flexibilidad y adaptabilidad a diferentes variantes del diseño experimental incentiva el aprendizaje por descubrimiento.
Fomentar el desarrollo de actitudes positivas hacia la actividad científica.	Las características de los diseños de LAO permiten la configuración de las experiencias didácticas como «pequeñas investigaciones», con un desarrollo cercano al trabajo científico real.
Poner en contacto a los alumnos con la tecnología y sus aplicaciones, en condiciones parecidas o idénticas al mundo productivo.	La aplicación en experiencias reales de la informática produce en los alumnos una familiarización espectacular con los medios informáticos y su utilización en aplicaciones productivas; <i>este impacto es cualitativamente diferente y pedagógicamente superior al provocado por la utilización de otros medios didácticos</i> (vídeo, transparencias, láser, osciloscopio, etc.) o de la misma informática en aplicaciones de EAO.

Para finalizar, puede concluirse que una adecuada utilización pedagógica de los equipamientos de LAO está asociada a la concepción del ordenador y sus periféricos como una *herramienta más* del laboratorio, en el que ni son los tutores que suplantán al usuario como verdadero ejecutante y evaluador de la experiencia diseñada, ni tampoco su utilización es el objetivo principal de la sesión experimental.

Para llevar a cabo una utilización eficaz del medio informático en los laboratorios docentes es necesaria la *programación de actividades cabalmente diseñadas y organizadas, en las que el entorno informático tenga un papel instrumental relevante, pero subordinado a la consecución de los objetivos programados*. Las características de estas actividades podrían resumirse de la siguiente manera:

– *Que sean experiencias de probado interés*, en un doble sentido: el motivador para los alumnos y el de significa-

tividad de los contenidos curriculares afectados por su realización, de tal forma que la utilización del medio informático suponga un enriquecimiento pedagógico real.

– *Que los alumnos entiendan y asuman el diseño experimental*, para lo que es necesario que sus rasgos definitorios estén resaltados y hayan sido debatidos previamente.

– *Que no se enuncie ni se sugiera previamente el resultado correcto del experimento*, con el fin de posibilitar la discusión y valoración de las conclusiones.

– *Que el diseño de la experiencia no sea cerrado, sino que permita su proyección hacia la realización de otros experimentos del mismo nivel curricular*, con el mismo diseño o a lo sumo con ligeras variaciones instrumentales. La finalidad de este requerimiento es fomentar la actitud investigadora de los alumnos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Los manuales de los diferentes equipos existentes se refieren estrictamente a sus datos técnicos y prestaciones, y a la exposición de un conjunto de ejemplificaciones de la utilización de dichos equipos. En las siguientes referencias, como ya se ha comentado a lo largo de este trabajo, junto con aspectos técnicos del tema, se considera la incidencia real del LAO en la práctica docente y en el aprendizaje escolar.

AMEND, J.R., BRIGGS, R.D. et al., 1989. Laboratory interfacing for science courses in Montana schools: a project at Montana State University, *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, Vol. 9, pp. 95-105.

AMEND, J.R., TUCKER, K.A. et al., 1990. Drawing relationships from experimental data: computers can change the way we teach science, *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, Vol. 10, pp. 101-111.

BARRIO, C., BAYÓN, A. et al., 1992. *El ordenador en el laboratorio. 46 ejemplos prácticos para la enseñanza obligatoria*. (PNTIC- MEC: Madrid).

BAUM, R., 1993. An experiment using a data-logger in the investigation of diffraction patterns, *Physics Education*, Vol. 28, pp. 382-383.

BROSS, T.R., 1986. The microcomputer-based science laboratory, *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, Vol. 3, pp. 16-18.

COLLINGS, P.J. y GREENSLADE, T.B. Jr., 1989. Using the computer as a Laboratory instrument, *The Physics Teacher*, Vol. 27, pp. 76-84.

CORDES, A.E., 1990. Using computers in the physics laboratory, *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, Vol. 9, pp. 53-63.

ECKSTEIN, S.G., 1993. The computerized student laboratory: Motion in a potential well, *American Journal of Physics*, Vol. 61, pp. 363-366.

HERRÁN, C. y PARRILLA, J.L., 1992. Laboratorio Asistido por Ordenador (LAO), *Zeus*, Vol. 17, pp. 46-49.

HERRÁN, C., 1993. Estudio experimental de la inducción electromagnética con un equipamiento de laboratorio asistido por ordenador, *Revista Española de Física* (aceptado para su publicación).

KOCHER, C.A., 1992. A laboratory course in computer interfacing and instrumentation, *American Journal of Physics*, Vol. 60, pp. 246-251.

MACKENZIE, I.S., 1988. Issues and methods in the microcomputer-based lab, *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, Vol. 7, pp. 12-18.

ROGERS, L.T., 1987. The computer-assisted laboratory, *Physics Education*, Vol. 22, pp. 219-224.

THORNTON, R.K., 1987. Tools for scientific thinking-microcomputer-based laboratories for physics teaching, *Physics Education*, Vol. 22, pp. 230-238.

SCAIFE, J., 1993. Datalogging: where are we now?, *Physics Education*, Vol. 28, pp. 83-86.

WINDERS, A. y YATES, B., 1990. The traditional science laboratory versus a computerized science laboratory: think carefully before supplanting the old with the new, *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, Vol. 9, pp. 11-15.