

# LA EXPERIMENTACIÓN ASISTIDA CON CALCULADORA (EXAC): UNA VÍA PARA LA EDUCACIÓN CIENTÍFICO-TECNOLÓGICA

**Vicent F. Soler-Selva**

Instituto de Educación Secundaria Sixto Marco, España

**Pablo Valdés-Castro**

Departamento de Física. ISP Enrique J. Varona, Cuba

**Carlos Becerra-Labra, Marisa Cano-Villalba, Albert Gras-Martí**

Dept. de Física Aplicada, Universidad de Alicante, España

## 1. INTRODUCCIÓN

Nuestro propósito es contribuir al debate creciente sobre la educación científico-tecnológica de la sociedad desde el punto de vista de profesores de ciencias. Primeramente recordaremos algunos argumentos generales sobre la conveniencia de considerar elementos de la cultura tecnológica dentro del aula de Física y Química –válidos para otras ramas científicas. Luego, como contribución concreta a la discusión acerca de cómo incorporar aspectos de tecnología en la enseñanza de las ciencias, mostraremos la potencialidad al respecto de la experimentación asistida por calculadora gráfica y sensores. Concluiremos con un ejemplo de un “programa-guía de actividades” (García, 1998) que contiene buen número de referencias a cuestiones científico-técnicas.

## 2. ¿PORQUÉ ASPECTOS DE TECNOLOGÍA EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS?

Es innegable la enorme influencia ejercida por la tecnología durante el siglo que recién ha concluido (Bybee, 2000), y es de esperar que su implicación en la sociedad y la cultura sea aún mayor en los próximos años. De ahí que se considere indispensable avanzar en la educación tecnológica de todas las personas, con independencia de la propuesta didáctica que se elija para conseguirlo.

Sin embargo, la necesidad de atender a la tecnología *en la educación científica* va más allá de consideraciones como las anteriores, se fundamenta, ante todo, en su *estrecha interrelación con la ciencia*. El aspecto de esta interrelación que va *de la ciencia a la tecnología* ha sido tradicionalmente reconocido, e incluso exagerado, hasta el punto de que muchos interpretan la tecnología, simplemente como “ciencia aplicada” (Gardner, 1994). Por supuesto, ¿quién puede poner en duda que muchas innovaciones tecnológicas, e incluso ramas enteras de la tecnología, como la microelectrónica, las tecnologías nucleares o la biotecnología, han sido posibles gracias a la ciencia? Pero aquí queremos resaltar el otro aspecto de la interrelación, menos evidente y casi siempre olvidado en la educación científica, el que va *de la tecnología a la ciencia*.

En realidad, desde el surgimiento de la ciencia moderna la tecnología ha ocupado un lugar central en la actividad científica (Maiztegui et al, 2002). En efecto, el enorme progreso experimentado por la ciencia a partir del siglo XVII se debió, en buena medida, al desarrollo de *instrumentos tecnológicos* (telescopios, microscopios, numerosos instrumentos de medición). El establecimiento de la Termodinámica, otro ejemplo histórico, quedará ligado al perfeccionamiento de diferentes técnicas desarrolladas con anterioridad. El papel esencial de la tecnología en la actividad científica se hace particularmente palpable en nuestros días. Piénsese, por ejemplo, en lo que representan los grandes “aceleradores” para la investigación de las partículas subatómicas, las naves es-

paciales y los modernos telescopios para la astrofísica, o la automatización y los ordenadores para la actividad científica en general (Valdés y Valdés, 1994).

Mencionemos otras dos razones que argumentan la conveniencia de considerar elementos de tecnología en la educación científica. La primera tiene que ver con la naturaleza misma de la actividad humana. Comprensión y acción, teoría y práctica, constituyen dos aspectos *de la condición humana*, diferenciados, desarrollados e institucionalizados por la sociedad de modo especial en forma de ciencia y tecnología, pero que siempre se presuponen uno al otro. Al resolver problemas de la vida real -incluidos problemas científicos- invariablemente las personas integran conocimiento formal y experiencia práctica acumulada, pensamiento y acción (Brickhouse et al, 1993; Hill, 1998). De ahí que la educación científica deba esforzarse por desarrollar en los alumnos un estilo de pensamiento que combine la comprensión y profundización teóricas con la acción y el hacer prácticos, a lo cual, sin duda, puede contribuir la dimensión tecnológica. La segunda razón para incluir elementos de tecnología en la enseñanza de las ciencias está relacionada con la calidad del proceso de aprendizaje. En efecto, muchos investigadores y educadores coinciden (Driver, 1986; Solbes y Vilches, 1993; Cajas, 1999 y 2001; Maiztegui et al, 2002) en que la conexión del conocimiento científico escolar con los conocimientos y experiencias de la vida diaria de los alumnos, así como con su hacer práctico, contribuye, por un lado, a que el conocimiento científico sea más significativo y más apto para ser utilizado luego en diversas situaciones y, por otro lado, a que el aprendizaje de las ciencias adquiera mayor sentido y relevancia para ellos. Adicionalmente, como han constatado diversos profesores (McFarlane y Friedler, 1998), la utilización en sí misma de modernos equipos electrónicos (ordenadores, calculadoras) produce una reacción positiva en la mayoría de los alumnos.

No obstante, frente a la creciente importancia de la tecnología en la vida cotidiana y en la ciencia, y pese a lo que ella puede representar para elevar la calidad de la educación científica y la motivación de los alumnos, hemos de reconocer que, en general, el alumnado percibe una gran desconexión entre la ciencia que se enseña en las aulas y la cultura tecnológica en la que vive inmerso. Las causas de esta situación son diversas y no es objeto de este trabajo examinarlas. Señalaremos sólo que, en nuestra opinión, entre ellas sobresalen algunas concepciones incorrectas, pero que hasta ahora han prevalecido, acerca de la ciencia y la tecnología (Maiztegui et al, 2002, Fernández et al, 2002), y la insuficiente preparación en ciertos aspectos (filosofía e historia de la ciencia, tecnología, habilidades prácticas) de muchos diseñadores de currículos, autores de libro de texto y profesores de ciencias (Gardner, 1994, Cajas, 1999 y 2001).

En resumen, si tenemos en cuenta que desde el inicio la ciencia moderna es ya notable su dimensión tecnológica y sentido utilitario; que como consecuencia de factores educacionales y organizativos se ha contribuido a un distanciamiento, en las aulas, entre ciencia y tecnología (Cardwell, 1996); que, como afirma Acevedo (1995), en el mundo actual la ciencia académica –entre otras, añadiríamos nosotros-, cada vez está siendo más dirigida por las finalidades y metas tecnológicas; que “los avances tecnológicos posibilitan nuevas formas de pensar” (Sardà y Sanmartí, 2000) y las actividades de aprendizaje como investigación orientada han de contemplar los medios técnicos e intelectuales contemporáneos (Valdés y Valdés, 1999); que las nuevas orientaciones educativas sugieren reforzar el entramado CTS (Solbes y Vilches, 1992; Membiela, 1995; Vilches y Furió, 1999; López, 2001), entonces parece evidente la necesidad de rediseñar las actividades a realizar por los estudiantes, con el fin de que contemplen la situación que se da fuera de ella, y lo hagan de la forma en que se sugiere desde la investigación didáctica.

A continuación examinamos, brevemente, las potencialidades que ofrece la experimentación utilizando una calculadora programable y sensores, para la educación científico-tecnológica.

### 3. UN EJEMPLO DE CONEXIÓN CIENCIA-TECNOLOGÍA: LA EXPERIMENTACIÓN ASISTIDA CON CALCULADORA (EXAC)

Entre las muchas posibles aplicaciones de la informática en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias se contempla el uso del ordenador para la experimentación, ya sea con modelos o en el laboratorio (Aranda y Ruiz, 1991; Herrán y Parrilla, 1992; Guisasaola et al 1999). Tal proceder conduce a modificar sustancialmente la programación didáctica, y posibilita que el estudio de los procesos naturales pueda ser abordado como el resultado de pequeñas investigaciones (Calatayud et al, 1980; García, 1998), con un mayor tiempo para plantear hipótesis, elaborar modelos, diseñar experiencias, reflexionar sobre ellos, y menos tiempo dedicado a actividades rutinarias.

Pero la Experimentación Asistida por Calculadora ( $E^XAC$ ) puede constituir un instrumento didáctico con muchas ventajas sobre otras opciones, como son el diseño clásico de experiencias o la experimentación asistida por ordenador (por ejemplo, EXAO, LAO), a la vez que favorece la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias siguiendo las orientaciones que la plantean como una investigación. Por otra parte, permite una mayor

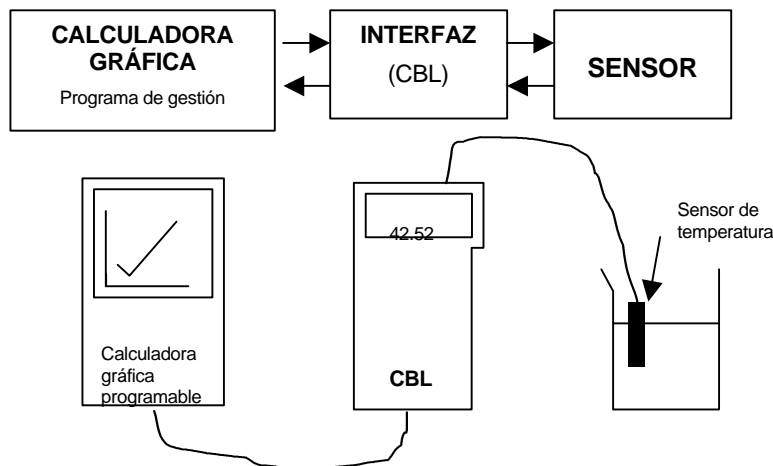


Figura 1: Experimentación Asistida con Calculadora gráfica ( $E^XAC$ ): elementos básicos.

relación entre la actividad del aula y el mundo que rodea a los alumnos.

La  $E^XAC$  se vale de los tres dispositivos electrónicos siguientes, fig. 1, (Soler-Selva y Gras-Martí, 1998 y 2000, y Vernier, 2001):

I) una calculadora gráfica programable (que posibilita la elaboración de modelos matemáticos; la recogida, el almacenamiento y el análisis de datos; y la confección de programas para el control de determinados procesos),

II) un sistema para la adquisición de datos y el control de ciertos procesos (Calculator-Based Laboratory System, o CBL), que consta de microprocesador, memoria, canales de entrada y salida, pantalla de visualización, y que puede realizar ciertas operaciones con los datos,

III) una serie de sondas, o sensores, para la medición y el control de diversas magnitudes. Con sensores adecuados se pueden medir distancias, velocidades, temperaturas, luminosidad, pH, fuerzas, nivel de  $CO_2$ , conductividades, campos magnéticos, y muchas otras magnitudes.

Además de tres canales de entrada analógicos, a través de los cuales se realizan las mediciones de diferentes magnitudes utilizando sensores, la CBL dispone de un canal digital de entrada (DIG IN) y otro canal digital de salida (DIG OUT). Este último permite a la CBL, adicionalmente a la realización de mediciones, el control de procesos y automatismos.

La CBL es, pues, un dispositivo electrónico de mano para la recogida automática de datos del laboratorio o del mundo que nos rodea, así como para el control de determinados procesos. Los datos registrados mediante ella, en general se exportan automáticamente a la calculadora gráfica para un análisis posterior.

La incorporación de una nueva tecnología en el aula debe ir acompañada, sin embargo, de la consiguiente reflexión (Sancho, 1994), en lo cual nos detendremos brevemente a continuación.

En comparación con la experimentación habitual, la asistida por calculadora disfruta de ventajas comunes con los sistemas basados en el ordenador, como LAO/EXAO (Aranda y Ruiz, 1991; Herrán y Parrilla, 1992), que vamos a enumerar: 1) deja más tiempo para el diseño de los experimentos y la valoración de los datos obtenidos; 2) la repetición de la medida o, incluso, de la experiencia, es fácil y rápida; 3) elimina buena parte del error manual ya que posibilita especificar el número de mediciones y el intervalo entre medidas, limitando la influencia de algunos factores distorsionadores de la medición; 4) en procesos cualitativos, permite apreciar fácilmente relaciones o evoluciones; 5) posibilita considerar procesos de duración prolongada; 6) proporciona, al final de proceso, y de manera inmediata, un registro de tablas de valores y gráficos, para su estudio con más detenimiento; 7) permite la construcción de "bibliotecas de registros experimentales" en soporte magnético u óptico, con lo cual se favorece el intercambio y la comunicación de resultados. Pero, por encima de todo, contribuye a relacionar al alumnado con conceptos, procedimientos y dispositivos ampliamente utilizados en la actividad científico-tecnológica contemporánea.

Aparte de éstas, la E<sup>X</sup>AC presenta una serie de ventajas propias, que también enumeraremos: 1) una gran manejabilidad de los dispositivos utilizados, gracias al pequeño tamaño y poco peso de ellos (poco más de medio kilogramo), por lo que es fácil desplazarlos para realizar experimentos en casa (exploración de fenómenos cotidianos de la vida del alumnado) o en exterior del centro educativo (experiencias de campo); 2) la posibilidad de compartir los dispositivos en centros de pocos recursos: todos los profesores de ciencia pueden utilizar el equipamiento y los de matemáticas, la calculadora gráfica; 3) una gran facilidad de intercambio de datos entre las calculadoras, lo que hace posible la redistribución de los resultados de las mediciones de unos grupos de alumnos a otros; 4) el coste del equipamiento mínimo requerido para la E<sup>X</sup>AC es muy inferior al de otros sistemas basados en ordenadores (por ejemplo EXAO, LAO) y al de los equipos habituales de los laboratorios de secundaria.

Cabe destacar que la E<sup>X</sup>AC no precisa de un ordenador (aunque su uso puede resultar de utilidad), y en este hecho radica una de sus ventajas frente a otras opciones, tal vez más precisas y de mayor capacidad de memoria, pero menos manejables y que no pueden moverse de lugar con facilidad. La E<sup>X</sup>AC es, por otra parte, de fácil aprendizaje y manejo, y permite efectuar experimentos tanto en la enseñanza secundaria como en la universitaria.

No queremos terminar este análisis sin referirnos a los posibles "riesgos pedagógicos" de la E<sup>X</sup>AC (o de la EXAO/LAO). Ellos pudieran derivarse de su abusivo uso, como consecuencia de un acaparamiento de las actividades de laboratorio por el equipamiento automatizado, lo que puede crear en el alumnado una falsa im-

presión de juego, o de magia. Este peligro se corresponde con una interpretación errónea de las prácticas de laboratorio, basada en el convencimiento de que, como es posible medir más y mejor con estas modernas tecnologías, los objetivos educativos y científicos se consiguen automáticamente. Pero, de igual manera que no todas las actividades son necesariamente adecuadas para una sesión de laboratorio tradicional, no todas las prácticas son adecuadas para la E<sup>X</sup>AC. Por otra parte, es preciso insistir en que la actividad experimental cobra verdadero sentido, solo en la medida en que responde a alguna pregunta o problema previamente planteado y que, además, toda medición debe ir acompañada de una valoración dentro del contexto global de la experiencia. En resumen, no hay que forzar el uso del E<sup>X</sup>AC en experimentos que no resulten claramente beneficiados con su introducción. No hemos de perder el referente general: el objetivo es conseguir un aprendizaje significativo y reflexionar más sobre la ciencia, la tecnología y los procedimientos por ellas empleados

#### **4. IMPLEMENTACIÓN DE LA EXAC EN SECUNDARIA**

La Experimentación Asistida con Calculadora contribuye a cubrir objetivos que podríamos considerar tradicionales y, en general, presentes en los bachilleratos, como pueden ser la realización de mediciones, la construcción de gráficos, el control de variables, el ajuste de curvas a datos experimentales, la obtención de las ecuaciones que describen algunos cambios, etc. Sin embargo, la E<sup>X</sup>AC abre las puertas también a contenidos más actuales, como por ejemplo, los conceptos de método numérico, simulación, diseño, sensor, interfaz, entrada y salida, control, etc., así como a procedimientos vinculados a estos conceptos.

La E<sup>X</sup>AC propicia, como se viene señalando, plantear pequeñas investigaciones o problemas abiertos, que se resuelven siguiendo una orientación por investigación (Calatayud, et al, 1978; Calatayud, et al, 1980). Es decir, se puede poner especial énfasis en aquello que se hace antes (delimitación del problema, emisión de hipótesis, diseño, etc.) y después de la toma de datos (análisis de los datos, revisión de las hipótesis, etc.). Pero ni el montaje de la instalación ni la propia adquisición de los datos han de comportar excesiva dedicación, y tampoco deben ir acompañados de complejidad superflua.

Seguidamente presentamos, a modo de ejemplo, un programa-guía de actividades en el que se inserta coherentemente la E<sup>X</sup>AC. Hemos estructurado la secuencia de actividades de acuerdo con el modelo de aprendizaje por investigación.

#### **5. PROGRAMA-GUÍA DE ACTIVIDADES**

##### **5.1 Comentarios previos**

El problema y consiguientes actividades están diseñados para alumnado de Bachillerato. Suponemos que los alumnos ya tienen ciertos conocimientos sobre la E<sup>X</sup>AC, y en particular sobre el uso del sensor de movimiento. La introducción de algunos cambios en este programa-guía permitiría su aplicación en cursos anteriores o con alumnado de los primeros cursos de carreras científico-técnicas. Los comentarios están dirigidos al profesorado, pretenden justificar las actividades, proporcionar ciertas sugerencias.

##### **5.2 Problema: Estudio del movimiento oscilatorio de un cuerpo.**

A.1 *¿Qué ejemplos de la vida cotidiana y de la naturaleza, se corresponderían con este tipo de movimiento? ¿Qué interés puede tener para la ciencia, la tecnología y, en general la vida, estudiar este tipo de movimiento?*

La palabra *oscilación* designa cambios de muy diversas magnitudes: el precio de determinado producto, el valor de cierta moneda, la temperatura del medio, la demanda de electricidad por día o meses correspondiente a un municipio o ciudad, la posición o velocidad de un cuerpo o de sus partes, el voltaje en los terminales de un enchufe, la intensidad del campo eléctrico en las antenas transmisoras y receptoras, etc. En general, *oscilaciones son los cambios que experimenta una magnitud alrededor de cierto valor*. La ciencia –especialmente la física- y la tecnología estudian y utilizan una gran variedad de oscilaciones.

El estudio de tales oscilaciones (y de la propagación de ellas, las ondas), y en particular el de *los factores que determinan sus características*, tiene gran importancia, por ejemplo para: la construcción de diferentes sistemas arquitectónicos, como edificios y puentes, especialmente en zonas sísmicas; el diseño y fabricación de suspensiones mecánicas; equipos de relojería; la fabricación de instrumentos musicales y dispositivos para la transmisión y recepción del sonido; la producción de equipos para la transmisión y recepción de señales de radio y televisión y en general las comunicaciones; el funcionamiento de numerosos equipos médicos... El estudio de las oscilaciones y de las ondas también ayuda a esclarecer ciertos enigmas de la naturaleza: cómo se orientan algunos murciélagos durante el vuelo nocturno; cómo se guían los delfines; etc.

#### *A.2 Reproduce experimentalmente y observa algunos casos sencillos de oscilaciones.*

Entre los ejemplos que reproducen los diferentes equipos de alumnos pueden estar: un cuerpo que cuelga de un hilo (péndulo), una regla plástica fijada por uno de sus extremos al borde de una mesa y un cuerpo sujeto al extremo de un cuerpo elástico, al desplazarlos de su posición de equilibrio. El profesorado debe llamar la atención de los alumnos sobre varias cuestiones: 1) los casos observados constituyen un tipo particular de oscilaciones, en que la magnitud que cambia con mayor evidencia para nosotros es la posición del cuerpo o de ciertas partes de él; puesto que cambia la posición del cuerpo o de sus partes, tales oscilaciones se denominan *mecánicas*; 2) sin embargo, en los casos considerados no sólo oscila la posición, sino también otras magnitudes, por ejemplo, velocidad, fuerza, aceleración, energías cinética y potencial; 3) muchas veces las oscilaciones, incluso mecánicas, no son observables con tanta facilidad, por ejemplo, las de los objetos que producen sonido, como un diapason al golpearlo; en estos casos, recurrir a videogramas o al diseño de montajes, como el que se propone más adelante, pueden contribuir a su “visualización”.

Conviene detenerse en cuestiones como las anteriores y resaltar que, en cierto modo, ya se está acotando el estudio: al parecer, entre las oscilaciones más fáciles de estudiar –y por consiguiente por las que debemos comenzar- están las mecánicas, en particular las de un péndulo y un cuerpo sujeto a otro elástico.

#### *A.3 Se dice que para hacer ampliar el conocimiento es tanto o más importante formular la pregunta o preguntas adecuadas como conocer una respuesta. Compruébalo tu mismo; para continuar avanzando en la investigación que has iniciado plantea cuestiones en las que, en tu opinión, sería de interés profundizar.*

En la discusión puede llegarse a cuestiones como las siguientes: ¿Cuáles son las características principales de las oscilaciones? ¿Qué factores determinan dichas características? ¿Qué analogías y diferencias encontramos en los movimientos oscilatorios que conocemos? ¿Cuál es el cuerpo de conocimiento

dentro del cual se estudian las oscilaciones (leyes, principios aplicables)? ¿Será posible encontrar algunos pocos conceptos e ideas para explicar las oscilaciones, pese a la enorme diversidad de ellas?...

Por supuesto, estas preguntas son solo un ejemplo de las que pudieran plantearse inicialmente y que orientan el estudio que se está realizando. Como en cualquier investigación, a lo largo de dicho estudio irán surgiendo otros muchos interrogantes.

*A.4 Delimita el problema a estudiar, fija las restricciones simplificadoras que creas oportunas y concreta las variables que medirás en el estudio del movimiento.*

El análisis efectuado hasta aquí conduce a seleccionar péndulos y cuerpos sujetos a otros elásticos, a fin de realizar un estudio inicial de las oscilaciones. Los diferentes equipos pueden trabajar con variedades de unos y otros.

La realización de las actividades anteriores ya son suficientes para que resulte evidente a buena parte del alumnado que los movimientos oscilatorios reales son amortiguados, y que los estudios se empiezan imaginando situaciones ideales como pueda ser, en nuestro caso, el hecho de admitir que el cuerpo describe un movimiento armónico simple; con posterioridad se añade complejidad al estudio inicial, aproximándonos, cada vez más, a la descripción más detallada de situaciones reales.

*A.5 Los movimientos oscilatorios pueden diferenciarse atendiendo a diversas magnitudes, pero entre ellas sobresalen dos: amplitud y frecuencia. Intenta caracterizarlas, después consulta las definiciones en algún texto de la biblioteca de aula, iniciando un glosario de términos.*

El enunciado concreto y la discusión de esta actividad dependerán de lo que los alumnos ya conocen de cursos anteriores. Tiene, también, como finalidad fomentar la consulta bibliográfica, citar referencias, completar un glosario con el fin de utilizar la terminología científica en la redacción de los informes, etc.

*A.6 Realiza un estudio dinámico y cinemático cualitativo, enunciando hipótesis y avanzando posibles resultados. ¿Qué forma cabe esperar para las gráficas  $x = f(t)$ ,  $v = f(t)$  y  $a = f(t)$ ? ¿De qué factores dependerá la frecuencia (y por tanto el período)? ¿Y la amplitud?*

Al hacer la puesta en común del estudio cualitativo realizado por los diferentes equipos, podrían resaltarse aspectos como los siguientes:

En los sistemas estudiados:

- La amplitud de las oscilaciones depende de condiciones impuestas desde el exterior: de la posición inicial del cuerpo (de su energía potencial) y de su velocidad inicial (de su energía cinética).
- La frecuencia de las oscilaciones parece no depender de la amplitud del movimiento, sino sólo de características propias del sistema: de sus dimensiones, como en el péndulo; de su masa y características elásticas como en el cuerpo-resorte.
- Las gráficas  $x = f(t)$ ,  $v = f(t)$  y  $a = f(t)$  parecen tener formas parecidas a una senoide y los valores máximos y mínimos no coinciden en el tiempo para las tres magnitudes.

Comprobar las conclusiones 2 y 3, profundizar en ellas (digamos, encontrar la dependencia concreta para la frecuencia, o los parámetros de las sinusoides en el supuesto de que se ajusten a estas funciones) y generalizarlas a otras oscilaciones, como por ejemplo, las de un diapasón, una cuerda de guitarra, etc., requiere de un análisis mucho más detallado, cuantitativo.

En los textos elementales suele asociarse el movimiento oscilatorio armónico simple con el de la proyección del movimiento circular uniforme de un punto sobre el diámetro de la circunferencia. En los textos más avanzados, lo más frecuente es resolver la ecuación diferencial que resulta de sustituir la expresión de la fuerza elástica,  $F = -k \cdot x$ , en la ecuación correspondiente al segundo principio de la dinámica. Este segundo procedimiento no está al alcance de todos los estudiantes de secundaria; por otra parte, tras la solución formal de la ecuación diferencial, muchas veces queda oculto el sentido físico de lo que se hace. Pero la tecnología actual, y en particular la E<sup>X</sup>AC, posibilita utilizar otros dos procedimientos para estudiar el movimiento oscilatorio, uno teórico y otro experimental: a) la construcción de un modelo del movimiento estudiado y b) el registro de las posiciones en función del tiempo durante la oscilación real del cuerpo.

Queremos subrayar, no obstante, que la importancia de utilizar estos dos procedimientos va más allá del estudio de las oscilaciones en sí mismas. Dichos procedimientos permiten relacionar a los estudiantes con conceptos, métodos de trabajo y dispositivos comúnmente utilizados hoy en la actividad científico-tecnológica.

*A.7 Si imaginamos el movimiento estudiado como una serie de movimientos consecutivos que se realizan en intervalos de tiempo muy pequeños, entonces en cada uno de estos intervalos la aceleración puede considerarse, con cierta aproximación, constante. Escribe en ese caso las ecuaciones para la posición, la velocidad y la aceleración al finalizar dichos intervalos.*

El estudio dinámico cualitativo propuesto en la actividad A.6 debe haber sugerido al alumnado la conclusión de que, en los movimientos examinados, la fuerza, y por tanto la aceleración, es proporcional al desplazamiento respecto de la posición de equilibrio. Por otra parte, pueden haber confirmado esto durante la consulta bibliográfica realizada en la actividad A5.

Para el primer intervalo:  $x_1 = x_0 + v_0 \Delta t + \frac{1}{2} a_0 \Delta t^2$ ,  $v_1 = v_0 + a_0 \Delta t$ ,  $a_0 = F_0/m = -kx_0/m$

En general, para el intervalo  $i + 1$ :  $x_{i+1} = x_i + v_i \Delta t + \frac{1}{2} a_i \Delta t^2$ ,  $v_{i+1} = v_i + a_i \Delta t$ ,  $a_i = F_i/m = -kx_i/m$

*A.8 Programa dichas operaciones en la calculadora (o analiza detalladamente el programa). Experimenta con el modelo del movimiento oscilatorio; en particular, varía las condiciones iniciales del movimiento, así como los parámetros que caracterizan al sistema oscilatorio. Contrasta las hipótesis que formulaste durante el análisis cualitativo con los resultados del experimento con el modelo.*

*A.9 ¿Qué información adicional puede aportarnos la posibilidad de aplicar el principio de conservación de la energía mecánica?*

Suponer que se trata de un movimiento oscilatorio al que aplicamos el principio de conservación de la energía mecánica, conduce a la obtención, de manera sencilla, de los valores máximos de la velocidad y la aceleración, relacionando estos con la amplitud y las características del sistema.

Con esta información y la función que ajusta la posición del cuerpo, se facilita la obtención de las ecuaciones que describen las dependencias de la velocidad y de la aceleración en función del tiempo, así como llegar a la relación de ellas con la frecuencia.

- A.10 *Diseña el montaje experimental, indicando claramente qué magnitudes vas a medir, las unidades, cómo las registrarás, qué instrumentos utilizarás para medirlas, etc.*
- A.11 *Elabora un borrador de informe para comunicarlo y comentarlo en clase en una puesta en común en el grupo-clase.*
- A.12 *¿Qué instrumentos de medida habría utilizado una persona del siglo XIX para estudiar el movimiento que se propone? Compáralos con los que se utilizarán en clase (E<sup>X</sup>AC). Busca a través de Internet y en las direcciones facilitadas por el profesorado cuándo se empieza, aproximadamente, a utilizar la tecnología E<sup>X</sup>AC. ¿Cómo habría hecho esta consulta un estudiante hace diez años?*

No debe pasar inadvertido al alumnado que los principios científico-tecnológicos que subyacen a los instrumentos utilizados en sus experiencias forman parte de unos conocimientos y ámbitos de aplicación mucho mayores y que encontramos, algunos de ellos, en nuestro entorno cotidiano. En este sentido, durante la discusión puede dirigirse la atención hacia nuevas cuestiones en las que sería de interés profundizar, por ejemplo: a) ¿qué similitudes y diferencias hay entre el sensor de movimiento y equipos como el sonar y el radar? b) ¿hay en medicina alguna tecnología con principios similares al del sensor utilizado? c) ¿cómo se orientan en la noche los murciélagos?

- A.13 *Haciendo uso de la E<sup>X</sup>AO registra el movimiento del cuerpo objeto de estudio y analiza los resultados, teniendo en cuenta las hipótesis y el contenido examinado de los textos de la biblioteca. Enumera ventajas y reflexiona sobre limitaciones de la tecnología del sensor de movimiento utilizado.*

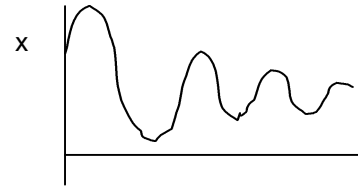
Se pedirá al alumnado que ajuste la función posición-tiempo a un función seno con la calculadora gráfica o, caso de disponer de ordenador y el programa Graphical Analysis, también con este equipo.

Como ampliación del estudio propuesto queda la posibilidad de generalizar los resultados a otras situaciones. Aunque en otros casos es difícil hacer el registro de la posición frente al tiempo, en el del diapasón o una cuerda tipo guitarra pueden contrastarse algunos resultados; por ejemplo, que la frecuencia no depende de la amplitud y que sí depende de características propias de estos cuerpos. Para medir la frecuencia en estos casos puede utilizarse el principio de la guitarra eléctrica, y de paso enlazar con ello. Basta hacer vibrar el diapasón, o la cuerda, muy cerca del núcleo imantado de una bobina para que se induzca una fem oscilante. Dicha fem pudiera detectarse con el sensor de voltaje de la E<sup>X</sup>AC.

En la puesta en común el profesorado puede puntualizar (si el alumnado no ha llegado a comentarlo al resolver la actividad A.7 y posteriores) que primero se ha utilizado un procedimiento teórico, en este caso numérico, para obtener consecutivamente posiciones y velocidades a partir de aceleraciones y que, con el sensor de movimiento, la calculadora gráfica realiza un procedimiento inverso mediante el programa correspondiente: a partir de posiciones se obtienen velocidades y aceleraciones.

A.14 Describe el tipo de movimiento que ha de tener el cuerpo para dar lugar a la gráfica posición-tiempo

siguiente y, a continuación, introduciendo las modificaciones que creas oportunas en tu diseño experimental anterior, trata de reproducirlo, registrándolo en la calculadora gráfica.



Con esta actividad se pretende transmitir al alumnado la imagen de que la solución de un problema lleva, en el ámbito de investigación científico-tecnológica, al planteamiento de nuevos interrogantes. Esta actitud de exploración permanente, debe reflejarlo el alumnado, como mínimo, en la elaboración del informe final o memoria al proponer nuevos problemas para abordar.

A.15 La E<sup>X</sup>AC te ha permitido tratar y almacenar en el ordenador información capturada con la calculadora gráfica. Señala alguna de las ventajas que supone para la comunidad científica disponer de esta tecnología.

Hacer público el trabajo compromete al alumnado a perfeccionar la comunicación y tiene un efecto motivador, como se ha tenido ocasión de comprobar.

Esta actividad abre las puertas a un debate sobre la comunicación científica, las patentes, la transferencia/monopolio de tecnología en los diferentes países y la relación con el desarrollo social, etc.

A.16 Comenta la frase siguiente de Jean Ullmo “La historia del progreso científico fue la de los instrumentos de medición y de su precisión siempre en aumento; la razón quiere saltar al límite y concebir el instrumento perfecto”.

A.17 Siguiendo las indicaciones generales dadas en clase, elabora una memoria final.

A.18 Qué recursos actuales pueden utilizarse para elaborar la memoria final y qué ventajas reportan? Indica algún cambio social que haya comportado el uso de esta tecnología.

## 6. CONCLUSIONES

Hemos ilustrado, mediante un programa de actividades, cómo utilizar la Experimentación Asistida por Calculadora para la realización de experimentos. Varias de las actividades propuestas han sido ensayadas con éxito con estudiantes de segundo curso de bachillerato.

En general, la introducción de la E<sup>X</sup>AC en el bachillerato ha favorecido, en nuestro caso, la organización del proceso de enseñanza-aprendizaje de la física y la química según el modelo de aprendizaje por investigación.

Pero tal vez lo más importante a destacar, es que ha contribuido a familiarizar a alumnos y profesores con algunos conceptos, procedimientos y dispositivos ampliamente utilizados hoy en la actividad científico-tecnológica y en la vida diaria, así como a profundizar en las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad.

## REFERENCIAS

- ACEVEDO, J. A. (1995). Educación tecnológica desde una perspectiva CTS. Una breve revisión del tema. *Alambique*, 3, pp. 75-84.
- ARANDA, J., RUIZ, F. (1991). L'EXAO: l'ordinador al laboratori. *Revista de Física*, 1 (1), pp. 50-52
- BYBEE, R. (2000). Achieving Technological Literacy: A National Imperative. *The Technology Teacher*. Sept., 2000, pp. 23-28.
- BRICKHOUSE, N., STANLEY, W., WHITSON, J. (1993). Practical Reasoning and Science Education: Implications for Theory and Practice. *Science & Education*, 2, pp. 363-365.
- CAJAS, F. (2001). Alfabetización científica y tecnológica: la transposición didáctica del conocimiento tecnológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), pp. 243-254.
- CAJAS, F. (1999). Public Understanding of Science: Using technology to Enhance School Science in Everyday Life. *International Journal of Science Education*, 21(7), pp. 765-773.
- CALATAYUD, L., FURIÓ, C., HERNÁNDEZ, J., GIL, D. ORTIZ, E., SEVILLANA, C., SOLER, V. (1980). *Trabajos Prácticos de Química como Pequeñas Investigaciones*, València: ICE-València.
- CALATAYUD, L., GIL, D., GINER, F., ORTIZ, E., SERO, E., SEVILLANA, C., (1978). *Proyecto de Renovación de los trabajos prácticos en Bachillerato*, València: ICE-València.
- CARDWELL, D. (1996). *Historia de la tecnología*. Madrid: Alianza Editorial, pp. 203.
- DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), pp. 3-15.
- GARCÍA SASTRE, P. (1998). *Los trabajos prácticos de Física en el modelo constructivista: desarrollo y evaluación*. Tesis doctoral. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- FERNÁNDEZ, I. GIL, D., VILCHES A., VALDES, P. (2002). *La superación de las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología: un requisito esencial para la renovación de la educación científica*, La Habana: Edit. Academia (Pendiente de publicación).
- GARDNER, P. (1994). Representations of the relationship between Science and Technology in the curriculum. *Studies in Science Education*, 24, pp. 1-28.
- GUISASOLA J., BARRAGUÉS, P., VALDÉS, P. VALDÉS, R y PEDROSO, F. (1999). Getting students familiar with the use of computers: study of the falling of a body in a fluid. *Physics Education*. 34 (4), pp. 214-219.
- HERRÁN, C., PARRILLA, J. L. (1992). *El ordenador en el laboratorio. 46 ejemplos prácticos para la Enseñanza Secundaria*. Madrid: Ministerio de Educación y ciencia.
- HILL, A. (1998). Problem Solving in Real-Life contexts: an Alternative for Design in Technology Education. *International Journal of Technology and Design Education*, 8, pp. 203-220.

- LÓPEZ CERREZO, J. A. (2001). Ciencia, Tecnología y Sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos. *Revista Iberoamericana de Educación: Ciencia, Tecnología y Sociedad ante la Educación*, 18, <http://www.campus-oei.org/cts>.
- MAIZTEGUI, A., ACEVEDO, J. A., CAAMAÑO, A., CACHAPUZ, A., CAÑAL, P., CARVALHO, A. M. P., DEL CARMEN, L., DUMAS CARRÉ, A., GARRITZ, A., GIL, D., GONZÁLEZ, E., GRAS-MARTÍ, A., GUIASOLA, J., LÓPEZ-CERREZO J. A., MACEDO, B., MARTINEZ-TORREGROSA, J., MORENO, A., PRAIA, J., RUEDA, C., TRICÁRICO, H., VALDÉS, P., VILCHES, A., (2002). *Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada*, La Habana: Edit. Academia (Pendiente de publicación).
- McFARLANE, A., FRIEDLER, Y. (1998). Where You Want IT, When You Want IT: The Role of Portable Computer in Science Education, Vol. I, pp. 399-418, en FRASER, B. (editor), *International Handbook of Science Education*, London: Kluwer Academic Publishers.
- MEMBIELA, P. (1995). Ciencia-Tecnología-Sociedad en la enseñanza de las Ciencias Experimentales. *Alambique*, 3, pp. 7-11.
- SANCHO GIL, J. M. (1994). Hacia una tecnología crítica. *Cuadernos de Pedagogía*, 230, noviembre, pp. 8-12.
- SARDÀ, J., SANMARTÍ, N. (2000). Ensenyar a argumentar científicament: un repte de les classes de ciències. *Ensenyanza de las Ciencias*, 18 (3), pp. 405-422.
- SOLBES, J., VILCHES, A. (1992). El modelo constructivista y las relaciones Ciencia / Técnica / Sociedad (CTS). *Ensenyanza de las Ciencias*, 10 (2), pp. 181-186.
- SOLBES, J., VILCHES, A. (1993). El modelo de enseñanza por investigación y las relaciones CTS. Resultados de una experiencia llevada a cabo con alumnos de BUP y COU. *Ensenyanza de las Ciencias*, (IV Congreso) pp. 133-134.
- SOLER-SELVA, V. F., GRAS-MARTÍ, A., (1998). Laboratori assistit amb calculadora gràfica (LACG). *Revista de Física*, 2(5), pp. 40-43.
- SOLER-SELVA, V. F., GRAS-MARTÍ, A., (2000). Integració del laboratori assistit amb calculadora gràfica (LACG) en l'ensenyament secundari. *Revista de Física* 2 (8), pp. 36-40.
- VALDÉS, R., VALDÉS, P. (1994). Utilización de los ordenadores en la enseñanza de la Física. *Revista Española de Física*, 8 (4), pp. 50-52.
- VALDÉS, P., VALDÉS, R. (1999). Características del proceso de enseñanza-aprendizaje de la física en las condiciones contemporáneas. *Ensenyanza de las Ciencias*, 17 (3), pp. 521-531.
- VERNIER SOFTWARE & TECHNOLOGY (2001). <http://www.vernier.com>
- VILCHES, A., FURIÓ, C. (1999). Ciencia, Tecnología y Sociedad: Implicaciones en la Educación Científica para el siglo XXI. *I Congreso Internacional "Didáctica de las Ciencias"* (<http://www.campus-oei.org/cts/ctseducacion.htm>)



**Contactar**

**Revista Iberoamericana de Educación**

**Principal OEI**