

## EL ORDENADOR EN TRABAJOS PRÁCTICOS. ANÁLISIS DE UNA EXPERIENCIA EN EL AULA DE FÍSICA EN EDUCACIÓN SECUNDARIA

**José Miguel Ayensa**

*Universidad de La Rioja*

**Luis Rosado**

*Facultad de Ciencias (Físicas) U.N.E.D. Madrid*

**M<sup>a</sup> Luz Los Arcos**

*IES Quintiliano Calahorra (La Rioja)*

**RESUMEN.** *En este trabajo se analiza el efecto sobre el aprendizaje de la propuesta de un trabajo práctico de Física a los alumnos de Educación Secundaria, relativo a caída de los cuerpos. En el diseño experimental de dicho trabajo práctico interviene el ordenador como medio de adquisición de medidas o datos experimentales de velocidad y tiempo de cuerpos que deslizan en una superficie sin rozamiento y en caída libre.*

*El análisis de los resultados obtenidos con dos grupos experimentales, frente a otros dos grupos de control, en un Centro de Secundaria, indican que la realización de experiencias de laboratorio, diseñadas en los trabajos prácticos en las que interviene el ordenador, es capaz de contribuir al aprendizaje significativo en Dinámica elemental más que otros medios tradicionales. El aprendizaje significativo se pone de manifiesto cuando los esquemas mentales de los alumnos llegan a ser coherentes con las ideas científicas, y esto se manifiesta cuando se constata una disminución significativa de las ideas alternativas, respecto a las que tenían antes del proceso de aprendizaje.*

**ABSTRACT.** *In this paper is analyzed the effect on the learning of the proposal of a practical work on Physics for the Secondary Education pupils, related to fall of the weights. In the experimental design of practical work takes part the computer as a means of experimental data acquisition of speed and weights time that slide in a surface without rubbing and in free fall.*

*The analysis of the results obtained with two experimental groups, as compared to other two control groups in a Secondary Education Center, indicates that the accomplishment of laboratory experiences, designed in the practical projects where takes part the computer, is capable of contributing to the significant learning in Elemental Dynamics more than by other traditional means. The significant learning is shown when the mental schemes of the pupils become coherent with the scientific ideas, and this is revealed by a significant decrease of the alternative ideas (misconceptions, spontaneous ideas or preconceptions), with respect to those which they had before of the learning process.*

## **1. El empleo del ordenador en la superación de ideas alternativas en cinemática. Objetivos del estudio.**

Numerosos trabajos publicados en la década de los ochenta han puesto de manifiesto la existencia de ideas alternativas en los estudiantes de Educación Secundaria en Física, y más concretamente en Dinámica Elemental, tanto en nuestro país (Hierrezuelo y Montero 1989, Acevedo et al 1989, Carracosa y Gil 1992, Palacios, del Moral y Varela 1996), como en otros del mundo occidental (Viennot 1979, 1996; Clement 1982, McDermott 1984, Osborne y Freeman 1989, Hewson 1990). En estos estudios se pone de manifiesto que las ideas de los alumnos no están de acuerdo con las leyes y modelos científicos, y que persisten a lo largo de varios años de aprendizaje, porque se integran en modelos mentales que proceden de la interpretación de las experiencias cotidianas que hacen los estudiantes. Esta persistencia de las ideas alternativas ha servido para poner énfasis en el fracaso de la enseñanza tradicional, basada en la transmisión-recepción, y ha favorecido la adopción paulatina del constructivismo en la Enseñanza de las Ciencias (Driver 1986).

Pero la adopción de un enfoque del paradigma constructivista, aunque conlleva un cambio en las ideas de los profesores acerca del proceso de aprendizaje, no es una metodología. Tampoco existen panaceas que aseguren que el aprendizaje del alumno va a ser significativo (Rosado y colaboradores 1994). De ahí la necesidad de desarrollar métodos y estrategias, coherentes con la orientación constructivista, que permitan mejorar el proceso de enseñanza/aprendizaje y disminuir la frecuencia de ideas alternativas.

Una de las estrategias de enseñanza/aprendizaje que se plantean con frecuencia, para alcanzar el aprendizaje significativo, es la realización de trabajos prácticos. Los trabajos prácticos son tareas experimentales que promueven la adquisición de procedimientos y habilidades básicas del quehacer científico, que se alejan de la concepción clásica de las 'experiencias de cátedra'. Permiten al alumno enfrentarse a un problema, cuya solución pasa por la emisión de hipótesis y el diseño de una estrategia experimental destinada a comprobar si se cumplen dichas hipótesis.

El planteamiento de un problema concreto, desde la perspectiva de los trabajos prácticos, se puede enfocar como una pequeña investigación que ha de llevar a cabo los alumnos con la ayuda del profesor, que dirige la discusión y la puesta en común de las conclusiones. Es decir, se trata de enfocar un problema y resolverlo siguiendo los pasos o fases habituales de una investigación. Por ejemplo, el estudio del siguiente problema: ¿cuál es la velocidad con que caen los cuerpos desde cierta altura?, se aborda como una pequeña investigación, que comienza por la formulación concreta del problema empleando magnitudes físicas y prosigue a través de una discusión en clase que permite centrar el trabajo en hipótesis, que emiten los alumnos, y que son susceptibles de ser comprobadas en el laboratorio de Física. Son los alumnos quienes diseñan las experiencias que permitan responder a la pregunta formulada. Es decir, han de diseñar experimentos de laboratorio sencillos destinados a comprobar las hipótesis que han formulado. En el ejemplo propuesto, es posible que los alumnos señalen que la velocidad con que llegan al suelo depende del peso, del tamaño del cuerpo, etc. Incluso proponen experiencias sencillas capaces de estudiar, de forma cualitativa, el comportamiento de los cuerpos en caída libre. Sin embargo, el estudio

cuantitativo de la influencia o dependencia de entre las magnitudes físicas implicadas, no pueden realizarse de modo directo, a no ser que se incorporen dispositivos de medida de velocidad, de tiempo, lo suficientemente sensibles como para efectuar medidas precisas y fiables en el laboratorio. Hoy es posible esto gracias a la incorporación del ordenador al laboratorio (Herrán y Parrilla 1994).

Experiencias en las que interviene el ordenador se llaman experiencias de laboratorio asistidas o controladas por ordenador (ELAO). El ordenador posibilita la medida y registro de magnitudes físicas diversas: tiempo, temperatura, velocidad, potenciales, etc, siempre que se disponga de sensores adecuados que detectan un cambio en las condiciones del medio físico (interrupción de un haz de luz, cambio de un potencial del medio, de la resistencia, etc). Éstos sensores envían una señal que se puede codificar, transformándola de analógica a digital, que puede ser tratada informáticamente. Para ello se necesita un sensor, un convertidor de señal y una tarjeta de adquisición de datos.

Nos preguntamos si el empleo del ordenador en la realización de experiencias de laboratorio, diseñadas en los trabajos prácticos, es capaz de contribuir al aprendizaje significativo en Dinámica elemental. Dado que la Dinámica elemental es una parte de la Física demasiado amplia, nos centraremos en el problema **de caída libre de los cuerpos**, a fin de acotar el problema. El aprendizaje significativo se pone de manifiesto cuando los esquemas mentales son coherentes con las ideas científicas, que se manifiesta por la disminución de las ideas alternativas.

Los objetivos que planteamos en este trabajo son:

- Proponer un modelo de trabajo práctico relativo a caída de los cuerpos, diseñado para alumnos de Educación Secundaria, en el que interviene el ordenador en la obtención de medidas experimentales de velocidad y tiempo. Es decir, estudiar el empleo del ordenador como medio de obtención de datos en prácticas que no pueden llevarse a cabo en el laboratorio de Física con la precisión requerida.
- Analizar la influencia del trabajo práctico diseñado, asistido por ordenador, en el aprendizaje declarativo de los alumnos, relativo a la caída de los cuerpos.

El empleo del ordenador en el aula de Física, aunque todavía limitado, se vislumbra como una herramienta o medio didáctico importante que va a sustituir a corto plazo muchas de las experiencias clásicas de laboratorio, sobre todo aquellas que presentan dificultades en las medidas y en la realización en laboratorios docentes. Se trata de un medio cuyo uso es creciente, que presenta innegables ventajas y algunos inconvenientes. Sin embargo, las supuestas ventajas del empleo de ordenador en el aula o en el laboratorio, respecto del empleo de otros medios de enseñanza, deben ser evaluadas y contrastadas y, en concreto, frente al diseño de experiencias y trabajos prácticos con materiales sencillos. De ahí la importancia de este estudio. En esta investigación se ha elegido la caída libre porque se trata de un fenómeno cuyo estudio experimental cuantitativo es difícil en el laboratorio escolar, dado que no es posible diseñar experiencias sencillas que permitan conocer cuantitativamente cómo es la caída de los cuerpos y de qué factores depende el tiempo que tarda un cuerpo en llegar al suelo si se deja caer desde cierta altura. Esta limitación obliga al profesor a recurrir a otro tipo de estrategias de aprendizaje en el aula alternativas a las

experimentales. En cambio, el diseño de experiencias que permitan conocer estos factores, mediante el ordenador, es relativamente sencillo. Queda por determinar si la propuesta de trabajos prácticos, mediante el empleo del ordenador en la adquisición de datos experimentales, ayuda al aprendizaje y si los resultados son significativos, respecto de los que se obtienen mediante otras estrategias de aprendizaje.

## 2. Estado de cuestión y planteamiento del problema

### 2.1 *Las ideas alternativas de los alumnos respecto de la caída de los cuerpos*

Una de las ideas alternativas más frecuentes en los alumnos, relativa de la caída de los cuerpos, es la suposición de que la velocidad que llevan al llegar al suelo depende del 'peso o de la masa de éstos'. Es esta una idea *aristotélica* muy arraigada en los alumnos y muchos adultos (Carrascosa y Gil 1982) y se basa en una interpretación simplista de las experiencias cotidianas.

McDermott (1984) encontró que el 91 % de los estudiantes de 11-12 años afirman que, si se dejan caer simultáneamente dos bolas diferentes desde la misma altura, la bola más pesada llega antes al suelo (véase el cuestionario que figura en el Anexo). De éstos, el 80 % afirma que cae antes por ser más pesada. En nuestro país, Carrascosa y Gil (1982) encontraron resultados similares en alumnos de 15 años (2<sup>o</sup> de BUP), de los que el 73,7 % afirma que un cuerpo de masa doble que otro llega en menos tiempo al suelo (de hecho, se aprecia con claridad la relación causal que se atribuye al peso, dado que la mayoría supone que el tiempo que tarda el de masa doble es la mitad). En investigaciones anteriores, que hemos llevado a cabo entre alumnos de BUP y FP (Ayensa, Cobia y Saiz 1996) se ha puesto de manifiesto que la asociación causal masa-tiempo, esto es, la relación de la masa con el tiempo que tarda un cuerpo en caer cierta altura, también se constata en el movimiento de caída de cuerpos lanzados horizontalmente.

Hay otras ideas alternativas en torno a las magnitudes físicas que intervienen en la caída libre de los cuerpos. Es habitual entre los alumnos la asociación entre fuerza y movimiento. Sebastián (1984) comprobó que el 80 % de los alumnos de enseñanza secundaria representan el vector fuerza en el sentido del movimiento (en un cuerpo que asciende y desciende después de ser lanzado verticalmente hacia arriba). Esto pone de manifiesto una asociación clara entre fuerza-velocidad (Sebastián 1984, Driver 1986). La asociación fuerza-velocidad, determinada mediante cuestiones diferentes a las mencionadas de la caída libre (movimiento de un cuerpo en un plano inclinado, movimientos circulares o en el movimiento de la partícula de un péndulo), se da en las tres cuartas partes de los alumnos de 2<sup>o</sup> y 3<sup>o</sup> de BUP (Acevedo *et al* 1989), y revela que los alumnos aceptan la relación causal fuerza-velocidad. Además es también frecuente la confusión entre aceleración y velocidad, dado que se atribuye aceleración a un cuerpo que se mueve rápidamente.

También se han puesto de manifiesto las dificultades de los alumnos en la distinción velocidad-aceleración. Hierrezuelo y Montero (1989) indican que las dificultades de los alumnos en la distinción velocidad y aceleración tienen su origen en dos causas: la confusión entre velocidad y cambio de velocidad y la confusión entre cam-

bio de velocidad con aceleración, dado que omiten la influencia del intervalo de tiempo en que se produce dicha variación de velocidad.

## 2.2 Dificultades para llevar a cabo trabajos prácticos de caída de los cuerpos

Entre las estrategias que se proponen como ayuda al cambio conceptual y metodológico de los alumnos, destacan los *trabajos prácticos*. En ellos, se plantean problemas que han de resolverse siguiendo los pasos de una pequeña investigación. Es decir, se propone un problema en clase y los alumnos lo hacen operativo mediante la identificación de las magnitudes físicas que intervienen. Después emiten hipótesis sobre los factores de los que depende los valores que adquiere cierta magnitud física, con indicación de las condiciones o acotaciones en las que se cumplirá la hipótesis. El paso siguiente consiste en diseñar las experiencias necesarias para comprobar las hipótesis. Estas experiencias han de ser realistas y realizables en condiciones de laboratorio, para lo cual es preciso indicar las condiciones en que se llevaría a cabo, el material necesario y las medidas concretas que deben realizarse, con indicación de las magnitudes físicas cuyos datos se han de obtener o disponer. En clase se presentan los diferentes diseños elaborados por los alumnos y se discute su operatividad e inconvenientes. En la puesta en común el profesor suele indicar qué materiales dispone el laboratorio y cuál de los diseños puede adaptarse al material disponible. Antes de proceder a la realización de los experimentos se les pide la elaboración de las tablas de datos que se han de utilizar. La fase siguiente consiste en realizar las experiencias diseñadas con el material de laboratorio disponible y analizar los resultados. Por último, se discuten los resultados en clase y se obtienen conclusiones.

A modo de ejemplo, supongamos que se plantea una pregunta acerca de cómo caen los cuerpos y de qué factores depende el tiempo que tarda en caer un cuerpo. Se pide a los alumnos que indiquen qué magnitudes físicas intervienen en la caída. Suelen señalar la altura, la velocidad que llevan, la masa (o el 'peso'), el tiempo de caída, la aceleración de caída (algunos han podido estudiar el problema en cursos anteriores), etc. A continuación, se les pide que formulen diversas hipótesis sobre el comportamiento de los cuerpos en su caída, con indicación del tipo de dependencia entre los factores que intervienen. Además, conviene que fundamenten sus hipótesis, esto es, que indiquen las razones en las que basan su respuesta. De este modo se ayuda a los alumnos a explicitar mejor sus ideas. Con frecuencia dan ideas que están de acuerdo con su modelo mental o *esquema conceptual* acerca de este fenómeno. Suele ser intuitivo y basado en 'el sentido común'. Es frecuente que señalen que la velocidad de caída depende de la masa de los cuerpos, de la altura, de la forma, etc. y, para comprobar las hipótesis, proponen experiencias de tipo cualitativo y cuantitativo. El problema surge al tratar de realizar las experiencias diseñadas y obtener datos cuantitativos.

Cuando se proponen diseños experimentales directos, es decir, cuando se plantean experiencias de caída de un cuerpo desde cierta altura, surgen problemas de tipo práctico relacionados con las limitaciones de los aparatos de medida. Por ejemplo, muchos alumnos suelen plantear la conveniencia de medir el tiempo que tarda un cuerpo en caer desde diversas alturas. El problema es medir ese intervalo de tiempo tan corto, que no puede realizarse mediante un cronómetro. Otro tanto ocurre con la

medida de la velocidad instantánea en diferentes puntos, que permitiría conocer el tipo de movimiento que tiene lugar.

### 2.3. *ELAO como solución a los problemas de realización de experiencias de laboratorio.*

Este tipo de problemas, relacionados con la dificultad de medir con precisión el instante en que pasa por una determinada posición un objeto o la velocidad instantánea de éste cuando cae o desliza en un plano horizontal o inclinado, etc, se resuelve mediante el uso de sensores conectados a un interface que envía señales a un ordenador, capaz de traducirlas a las magnitudes físicas buscadas.

Las experiencias de laboratorio controladas por ordenador también tienen sus limitaciones. Por ejemplo, no se pueden emplear cuerpos de la forma y tamaño que queramos, debido a la forma y tamaño de los sensores. Las hipótesis que los alumnos pueden comprobar en el laboratorio se refieren a la influencia de la masa en la velocidad o en el tiempo de caída de un cuerpo, y al tipo de movimiento que tendrá lugar durante dicha caída.

Las aportaciones del ordenador como medio de adquisición de datos en el laboratorio se agrupan en torno a las características siguientes (Herrán y Parrilla 1994).

- Permiten ampliar el número de experiencias que pueden llevarse a cabo, dadas las características de las medidas que pueden realizarse.
- Incrementan la calidad de las experiencias que se llevan a cabo en los laboratorios. Facilitan la adquisición de datos con precisión, en experiencias que no es posible con los medios habituales de los laboratorios docentes. Ofrecen rapidez, seguridad y sencillez en la adquisición de datos. La velocidad de proceso en los ordenadores posibilita medidas en las que se requiera rapidez. Evita distorsiones en las medidas porque se limitan los factores que intervienen en la adquisición de los datos.
- Posibilitan el registro y tratamiento de los datos. Se pueden registrar gran número de medidas experimentales y el ordenador da un tratamiento estadístico rápido, adecuado y fiable. Suelen dar, además, la representación gráfica de unas variables frente a otras, de modo que permiten efectuar el análisis de resultados con rapidez. Este aspecto es también de interés, dado que los estudiantes emplean mucho tiempo y esfuerzo en el tratamiento de los datos y en las representaciones gráficas, a pesar de estar acostumbrados a realizarlas.

El uso del ordenador no representa sólo ventajas. También existen inconvenientes derivados de las características del proceso de aprendizaje autónomo. Señalamos aquí algunos de los inconvenientes que conlleva la utilización del ordenador en las actividades experimentales.

- Los diseños experimentales son, a menudo, cerrados. Las medidas experimentales que se pueden llevar a cabo asistidas por ordenador tienen una estructura determinada por las características de los sensores, del controlador y de los conversores (conversor analógico-digital, digital-digital y digital-analógico). Cuando en el laboratorio no disponemos de dispositivos capaces de medir y registrar

datos que requieren gran rapidez, es preciso recurrir al diseño de experiencias que comporten el uso de diferentes procedimientos. Además, una de las fases de los trabajos prácticos, coherentes con la metodología científica, es el diseño de experiencias destinadas a contrastar las hipótesis emitidas por los alumnos. Esto exige de los alumnos un esfuerzo imaginativo enriquecedor, que se limita cuando conocen cuáles son las medidas y dispositivos que van a utilizarse en los montajes experimentales del laboratorio. Y aún más si se trata de experiencias que han de realizarse con ayuda de sensores y otros dispositivos de medida, controlados por el ordenador, dado que resultan poco flexibles.

- Evitan el tratamiento de datos experimentales que, salvo en los cursos superiores, conlleva la comprensión del significado de las variables, de las representaciones gráficas y de las relaciones entre las variables.
- Tienen el peligro de convertirse en experiencias demostrativas, en vez de experiencias concebidas en el marco de los trabajos prácticos, como pequeñas investigaciones. El automatismo de la adquisición de datos implica la falsa impresión de que las experiencias se reducen a constatar hechos experimentales de forma automática, en la que no cabe objeción al diseño y realización de las experiencias.

Esto sugiere que la conveniencia de utilizar los medios informáticos en el laboratorio como un medio, herramienta o material curricular más y no como una panacea que va a desplazar las experiencias de sencillo diseño por otras más espectaculares en las que todo está planificado. El entorno informático ha de estar supeditado a la actividad de los alumnos, como sujetos activos que son del aprendizaje científico.

### 3. Modelo propuesto y formulación de hipótesis

El estudio del estado de los conocimientos, relativo a la caída libre, revela que es frecuente en los alumnos la asociación causal masa-velocidad de caída, la asociación fuerza-velocidad y la confusión entre las magnitudes cinemáticas velocidad (en ocasiones, cambio de velocidad) y aceleración. Además, se indica que las ideas previas, es decir, las que tenían antes del aprendizaje, permanecen incluso después del proceso de instrucción. Se trata de ideas alternativas fuertemente arraigadas que persisten durante mucho tiempo, a pesar de que se plantean en el aprendizaje con frecuencia.

Dadas las características de las ideas alternativas, las estrategias de enseñanza/aprendizaje que se adopten han de ir encaminadas a provocar un cambio en los esquemas o modelos mentales de los alumnos. Y este cambio se produce si se ponen las condiciones necesarias para enfrentar al alumno a situaciones problemáticas que pongan en tela de juicio sus propias ideas (Driver 1986). De ahí la necesidad de transformar las clásicas experiencias de laboratorio, donde todo está hecho, en situaciones en las que el alumno tenga que resolver el problema planteado. Por ello, proponemos la realización de trabajos prácticos sobre caída libre, en los que se pida al alumno que emita hipótesis acerca de los factores de los que depende el tiempo de caída de un cuerpo, su velocidad, tipo de movimiento, etc, y diseñe las experiencias necesarias

para comprobar sus hipótesis. De este modo, el alumno se enfrenta a una situación problemática en la que tiene que hacer explícitas sus ideas y debe contrastarlas con la realidad, y esto constituye un medio para predisponerle al cambio conceptual.

El microordenador, como medio de adquisición de datos en el laboratorio, hace posible la comprobación de las hipótesis que emiten los alumnos sobre el comportamiento de los cuerpos y la medida de los valores que adquieren las magnitudes cinemáticas durante la caída libre. Esta posibilidad de realizar experiencias cuantitativas con cuerpos de diferentes masas, permite diseñar trabajos prácticos de caída libre que no pueden plantearse con otros medios. Por ejemplo, pueden medir la velocidad instantánea en diversos puntos de la trayectoria de caída de un cuerpo, y así constatar si la velocidad de varios cuerpos de masa muy distinta es la misma o diferente en diversos puntos de la trayectoria de caída. Dado que los trabajos prácticos contribuyen a lograr el aprendizaje significativo, y el ordenador permite la realización de experiencias de caída libre en las que se efectúen medidas de velocidad y aceleración instantáneas, se deduce que dicho medio ha de contribuir a favorecer el cambio conceptual en los alumnos. Dicho cambio conceptual se traduce en la adquisición de un modelo sobre la caída de los cuerpos coherente con las leyes de la Física, lo que significa que el alumno concluirá que la masa de los cuerpos no influye en la aceleración de caída, que no es razonable la asociación velocidad-fuerza y que la velocidad es una magnitud diferente de la aceleración. Lo que conduce a las hipótesis siguientes:

- H1: La realización de trabajos prácticos sobre caída libre, mediante el empleo del microordenador en la adquisición de datos experimentales, mejora la comprensión de los factores de los que depende la caída libre, respecto de otras actividades habituales del aula.
- H2: Los trabajos prácticos sobre caída libre, empleando el microordenador como medio de adquisición de datos experimentales, coopera en la distinción velocidad-aceleración mejor que mediante la realización de otras actividades habituales del aula.

Por actividades habituales del aula se entienden todas aquellas actividades que suelen realizarse en clase y en casa: explicación del profesor, discusión acerca de la interpretación de fenómenos, realización de ejercicios cuantitativos y cuestiones cualitativas.

La hipótesis H1 se cumple si la realización de trabajos prácticos sobre caída libre, con ayuda del microordenador, ayuda a comprender la independencia de las magnitudes físicas masa-aceleración y masa-velocidad. Y esto se constata si se produce una disminución de las ideas alternativas relativas a la independencia entre la masa y la aceleración de caída o entre la masa y la velocidad con que caen los cuerpos.

La hipótesis H2 se comprueba si se pone de manifiesto una disminución del porcentaje de ideas alternativas, relativas a la asociación velocidad-aceleración.



## 4. Descripción del diseño de la investigación

### 4.1. Estrategia de la investigación

Este estudio es de tipo descriptivo y analítico y trata de verificar la relación entre tres variables dependientes relacionadas entre sí: la existencia de ideas alternativas relativas a la independencia de las magnitudes físicas masa-velocidad, masa-aceleración, velocidad-aceleración, y una variable independiente, la utilización del microordenador en trabajos prácticos de caída libre.

La estrategia elegida consiste en comparar el estado cognitivo inicial y final de los alumnos del grupo experimental con el de otros grupos de contraste, que seguirían el estudio de la caída libre mediante actividades habituales de clase: explicación y realización de actividades de un programa-guía que contenía ejercicios, cuestiones, etc. (Hierrezuelo *et al* 1993). A fin de controlar la variable independiente profesor, se procurará que cada grupo de contraste sea un grupo en el que imparte clase el mismo profesor que en el grupo experimental.

### 4.2. Población y muestras

El estudio se realizó en alumnos de 4º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) en un Instituto de Educación Secundaria de 780 alumnos, ubicado en una ciudad de 20.000 habitantes,. No se hizo distinción de edad ni sexo. Se eligieron dos grupos experimentales y dos grupos de contraste. La experiencia la llevaron a cabo dos profesores diferentes que impartían Física y Química de 4º curso de E.S.O. a dos grupos cada uno. Los grupos experimentales se designaron atendiendo a dos criterios:

- (a) Eliminar la variable profesor, de modo que cada profesor tuviera un grupo experimental y otro de control
- (b) Que no existiera diferencia significativa entre los grupos de control y experimental en la puntuación obtenida en el pre test. Se constató en el análisis del pre test que no existían diferencias significativas entre grupos.

Dado que el tamaño de los grupos de 4º de ESO era parecido (uno de los profesores impartía a dos grupos, de 22 y 25 alumnos, respectivamente; el otro profesor, a grupos de 28 y 30 alumnos), se decidió designar como grupo experimental en cada caso, un grupo de alumnos de cada profesor, al azar.

### 4.3. Definición operativa de las variables

#### 4.3. 1. Variables dependientes

La variable dependiente *estado cognitivo pos test*, referido a la caída libre, se identificó mediante las respuestas a un cuestionario de detección de ideas alternativas, basado en las cuestiones utilizadas por McDermott (1984) en sus trabajos, y que se propuso tras el periodo de aprendizaje. Dicho cuestionario figura en el Anexo. A cada una de las cuestiones les corresponde uno de los indicadores de ideas alternativas en torno a la caída libre. Los indicadores que señalan el modelo físico que tienen los alumnos acerca de la caída libre son:

Independencia masa-tiempo invertido en la caída.

Independencia fuerza-velocidad.

Independencia velocidad-aceleración.

Dependencia de la velocidad de caída y altura.

Dependencia del tiempo que tarda en caer y altura.

Los indicadores 1 y 2 están relacionados con la independencia de la aceleración de la gravedad con la masa y que se opone a la idea intuitiva frecuente (también es una idea aristotélica, basada en cierto 'sentido común' inmediato y carente de análisis adecuado de los hechos físicos) de que los cuerpos caen con mayor velocidad desde una altura determinada cuanto mayor es su masa. También se refiere a la asociación frecuente entre fuerza y movimiento (Hierrezuelo y Montero 1989): ('a mayor fuerza, mayor movimiento'. El indicador 3 también pone de manifiesto la existencia de una idea alternativa común: la identificación entre cambio de velocidad y aceleración (sin tener en cuenta el intervalo de tiempo). Los indicadores 4 y 5 se refieren a la comprensión de que el movimiento de caída de un cuerpo es uniformemente acelerado.

#### 4.3.2. Variables independientes

- Estado cognitivo inicial. Se determina mediante los indicadores citados para el pos test.
- Profesor que imparte la materia.
- Metodología aplicada en el proceso de enseñanza/aprendizaje. Se contemplan *dos metodologías*:
  - Metodología basada en actividades habituales de clase. Las actividades habituales del aula son: explicación del profesor, discusión acerca de la interpretación de fenómenos y realización de ejercicios cualitativos y cuantitativos, siguiendo un programa-guía de reconocido prestigio.
  - Metodología basada en la realización de trabajo práctico en el que se incluyen experiencias controladas por microordenador.

#### 4.4. Descripción de la experiencia y método de recogida de datos

Con el fin de que los trabajos prácticos tengan coherencia, los alumnos disponen de un programa-guía de actividades en el que se recogen actividades de cada una de las fases habituales en un trabajo práctico, elaboradas expresamente para la investigación y que figura en el Anexo III. Algunas de dichas actividades han de realizar los alumnos individualmente en casa (planteamiento del problema, emisión de hipótesis y diseño de experiencias) y discutir las respuestas en pequeño grupo (de 3 a 5 alumnos) en clase. La puesta en común, dirigida por el profesor, se lleva a cabo también en clase. La realización de experiencias se realiza siempre en pequeño grupo.

La detección de ideas alternativas se realizó mediante la prueba citada, a comienzo del curso (pre test), y tras el proceso de enseñanza/aprendizaje. Los grupos experimentales dedicaron las sesiones de clase a la realización del trabajo práctico, siguiendo el programa-guía de actividades, que figura en el Anexo III y mediante el empleo del ordenador y sensores ópticos del equipo JEULIN. En el Anexo IV se describen los aparatos y elementos utilizados y las experiencias de EXAO realizadas. Los alumnos de todos los grupos habían realizado con anterioridad experiencias de laboratorio con el ordenador

y el equipo experimental mencionado (se emplearon en la toma de datos en movimiento uniforme y en movimiento uniformemente acelerado en plano inclinado). Los alumnos de los grupos de contraste siguieron las actividades de clase habituales entre las que figuran experiencias de caída en plano inclinado de cuerpos de diferentes masas (bolas de acero de diferentes tamaños), a fin de establecer la independencia entre la masa del objeto que desliza por un plano inclinado, la velocidad y el tiempo que tardan los objetos en llegar a un mismo punto. Además realizaron ejercicios numéricos destinados a calcular la velocidad y tiempo que tardan los objetos en caer desde determinada altura. Las pruebas se realizaron siempre en presencia del profesor.

#### 4.5. *Análisis de los datos*

##### 4.5.1 *Descripción del método de análisis de datos seguido.*

Tras la tabulación de los datos relativos a los indicadores que se han mencionado, relativos al pre test y pos test se realizó un análisis estadístico, mediante microordenador y el paquete estadístico SPSS 6.0, 1. En dicho análisis se siguieron los siguientes pasos:

- Análisis exploratorio, destinado a detectar errores en los datos y obtener los estadísticos fundamentales (estadísticos de variables cualitativas, y medidas de tendencia central y dispersión en cuantitativas).
- Análisis de la distribución de frecuencias en el grupo experimental y en los de control.
- Prueba de hipótesis nula en el pre test, que se verifica mediante el estadístico  $\chi^2$  (prueba de 'chi cuadrado) y la prueba T para muestras independientes (Independent-Samples T Test del SPSS), al enfrentar los casos experimentales con los casos del grupo de control. La hipótesis nula se rechaza para un nivel de significación  $p=0.05$ . Es decir, se admite que los resultados del pos test revelan que el porcentaje de ideas alternativas en el grupo experimental difieren de los obtenidos en el grupo de control para el nivel de significatividad expresado. O lo que es lo mismo: las hipótesis se cumplen en el caso de valores de  $\chi^2$  significativos.
- Análisis de diferencia entre medias de los grupos experimentales y de control, mediante la prueba T de comparación de dos medias en el caso de muestras independientes, que es un caso particular del análisis de la varianza de un factor.
- Análisis de correlación entre respuestas, correspondientes a los indicadores 1-2, y 3-4-5. El estudio de correlación se refiere a las respuestas acertadas y no acertadas del grupo experimental en las cuestiones 1(a)-1(b), y en la 2(a)-2(b)-2(c).

##### 4.5.2 *Análisis de las respuestas en el pre test y pos test. Diferencias observadas en los grupos experimentales y de contraste.*

Las respuestas dadas por los alumnos en el pre test a la primera cuestión indican, en una gran mayoría (superior a 3/4 del alumnado), la existencia de ideas alternativas

relativas a la independencia entre el peso y la velocidad adquirida por un cuerpo que cae (independencia fuerza-velocidad), y a la independencia entre el tiempo que tarda en caer y la masa (o el peso) de un cuerpo. Tan sólo un 15 % de los alumnos menciona que la velocidad es independiente de la masa del cuerpo que cae, y un 22 % razona del mismo modo, respecto del tiempo empleado en la caída. Estos resultados son similares a los obtenidos por McDermott (1982) en alumnos de menor edad (11-12 años), si bien en nuestro estudio el porcentaje de aciertos es algo mayor, dada la superior edad de los estudiantes. Los alumnos atribuyen al cuerpo de mayor masa (o peso) mayor velocidad e indican que llegará antes al suelo, dado que asocian la 'fuerza de gravedad' con mayor aceleración. Por ello, piensan que a mayor peso, mayor será la velocidad que adquieren en su caída y menor el tiempo invertido en caer. Existe una correlación elevada entre las respuestas dadas en el apartado (a) y el (b), que se corresponde con un alto grado de coherencia en el pensamiento de los alumnos. Es decir, las respuestas indican una clara asociación entre el peso de los cuerpos y la velocidad que adquieren durante su caída. Muy pocos alumnos dan respuestas contradictorias o incoherentes en ambas respuestas (cercano al 5 %).

En el pos test cambia de forma sustancial el porcentaje de alumnos que sostienen que la más pesada llega antes al suelo. Entre los alumnos del grupo experimental dan la respuesta correcta con explicación alrededor del 75 % de los alumnos. Entre los alumnos del grupo de contraste este porcentaje de aciertos con explicación suficiente es algo menor (73 % y 78 % de respuestas acertadas frente al 81 % y 91 % en los grupos experimentales) como se muestra en el resumen estadístico de la tabla 1 del Anexo II. No se confirma la hipótesis H 1, dado que el grado de significatividad es insuficiente. Algunos alumnos del grupo de contraste que dan una respuesta acertada (igual velocidad la bola de plomo y la de aluminio 'en el vacío') creen que la resistencia del aire es mucho mayor en la bola de aluminio y en realidad tardará más la de aluminio.

La respuesta que menor porcentaje de respuestas alternativas presenta (1/3 del alumnado) es la relativa a la relación entre la velocidad y distancia recorrida en el descenso de un cuerpo, que se pide en la cuestión 2 (a). La mayoría comprende que la velocidad adquirida es cada vez mayor a medida que baja el cuerpo, como corresponde a un movimiento acelerado.

La asociación velocidad aceleración, es decir, atribuir mayor aceleración a un cuerpo que se mueve con gran velocidad es también frecuente en el pre test, porque la mayoría confunde 'rápido' con acelerado. En la cuestión 2 (b) responde más de un 60 % de los alumnos indican que la aceleración que mide el observador situado en el piso inferior es mayor que la medida por el observador del piso superior. En su explicación, suelen indicar que, *'cuanto mayor es la aceleración, mayor es la velocidad y si tienen mucha velocidad, también aceleración'*. En el pos test el porcentaje que da respuestas erróneas es menor en todos los grupos (más del 70%), como se espera tras el proceso de aprendizaje. Se aprecia cierta diferencia entre los grupos experimentales y los de control (83 % en el grupo Experimental I frente al 67 % en el de Control I), correspondientes a uno de los profesores, mientras que no ocurre esto en los grupos experimental II (64 %) y de control II (58 %), ambos del profesor II. Esto indica que las diferencias no son significativas. Se concluye que la experiencia pare-

ce contribuir a elaborar mejor el concepto de velocidad, si bien no se confirma la hipótesis con el grado de significatividad requerido.

También se aprecian diferencias en la cuestión 2 (b), en la que se trata de establecer si los alumnos distinguen aceleración de rapidez o celeridad. En un grupo de alumnos que realizaron la experiencia, dan un porcentaje de respuestas correctas el 82 %, frente al 60 % de los alumnos del grupo de control correspondiente. El otro grupo experimental da un porcentaje de aciertos similar a los de control (64 % la media de los grupos de control y del grupo experimental que mencionamos). Es digno de mencionar que los alumnos del grupo experimental de mejores resultados realizaron gráficas velocidad-tiempo y efectuaron cálculos de la aceleración a partir de los datos experimentales obtenidos en el laboratorio en el banco de aire inclinado (Plano inclinado sin rozamiento) y en caída libre de bolitas de diferentes masas. Los alumnos del otro grupo experimental no realizaron experiencias relativas a plano inclinado y tuvieron poco tiempo para la discusión y análisis de resultados.

Como se esperaba en el pre test, la mayoría de los alumnos supone que la velocidad con que llega al suelo desde una altura es doble, porque establecen una ‘razonable’ relación proporcional entre velocidad y desplazamiento. Ocurre algo similar en la relación tiempo invertido en la caída y desplazamiento, si bien, en este caso, hay más alumnos que señalan correctamente que la velocidad es mayor a medida que cae un cuerpo, por lo que hay que esperar que el tiempo invertido sea mayor, pero menor que el doble. En el pos test los resultados son similares en los grupos experimentales y de control, si bien se aprecian diferencias entre los alumnos de un profesor y otro (46 % y 44 % en los correspondientes a uno de los profesores y 17 % y 14 % en los grupos del otro profesor). El bajo porcentaje de aciertos, respecto de las demás cuestiones, sugiere que se precisa dirigir la atención de los alumnos al análisis de los datos experimentales que obtienen en el laboratorio y que realizaron de forma superficial, dado que se limitaron a confeccionar gráficas que luego no analizaron apenas, como se constata en los cuadernos de trabajo. Esto sugiere que la simple realización de experiencias en el laboratorio, con ayuda o sin ayuda del ordenador, no provoca cambios en los esquemas mentales de los alumnos, a no ser que el modo en que se trabaje se acerque a la metodología científica, que incluye discutir y analizar en profundidad los resultados experimentales que obtienen.

## 5. Conclusiones y perspectivas

### *Implicaciones para la enseñanza*

Se produce una mejora significativa en las respuestas en el pos test, respecto del pre test, en todas las cuestiones propuestas, tanto en los grupos experimentales como en los de control, lo que evidencia que las actividades de enseñanza/aprendizaje en ambos casos han producido resultados satisfactorios. En el caso de los alumnos que realizaron el trabajo práctico el porcentaje de aciertos en todos los casos es superior al de los grupos de control, si bien estas diferencias no se producen con el grado de significatividad requerido para aceptar las hipótesis en todos los grupos experimentales (sí lo es en el caso del grupo experimental del profesor I, frente al de control I, correspondiente al mismo profesor). Aún así, los resultados ponen de manifiesto la

posibilidad de elaborar estrategias de enseñanza/aprendizaje que favorecen el cambio conceptual, basadas en la realización de trabajos prácticos en los que interviene el microordenador como medio de adquisición de datos de laboratorio.

Se constata también que, no sólo mejora el nivel de respuestas acertadas porque se produce un descenso de las ideas alternativas mediante este método, sino que modifica los esquemas mentales sobre el fenómeno de la caída de los cuerpos. No obstante, los resultados indican que la utilización del ordenador por sí sola, no es capaz de mejorar los resultados de otras actividades en las que los alumnos emiten hipótesis, proponen experiencias alternativas sencillas, y las realizan, relativas a la caída libre.

Se muestra un ejemplo de utilización 'activa' del ordenador y se aprovechan las ventajas que ofrece el ordenador en la adquisición de datos de laboratorio. Se evitan los inconvenientes que se atribuyen al uso inadecuado del ordenador (Herrán y Parrilla 1994), si se proponen trabajos prácticos en vez de experiencias demostrativas o de cátedra, dado que los alumnos han de participar en todas las etapas del trabajo práctico, ayudados por un programa-guía y la discusión en clase de las mencionadas etapas, desde el planteamiento del problema al análisis de resultados en el laboratorio, que realizan a partir de la elaboración de gráficas.

#### *Implicaciones para la investigación*

En primer lugar, sería necesario constatar que se ha producido un aprendizaje significativo, que se manifestaría proponiendo situaciones similares (con preguntas diferentes) a largo plazo, dado que es frecuente que las respuestas de los alumnos estén influenciadas por el recuerdo más que por un cambio sustancial del esquema mental. Por ello, proponemos la realización de un re test a largo plazo (al cabo de cuatro meses) en el que se introduzcan cuestiones similares, con enunciados diferentes. Las respuestas a estas cuestiones deberían guardar una buena correlación si el aprendizaje es significativo. De este modo se constataría si, como se espera, las diferencias entre los grupos experimentales y de control son mayores a largo plazo.

En segundo lugar, se abre la posibilidad de investigar la posible generalización de los resultados a estudiantes de ESO de otros centros. Por último, cabe señalar que se abre también una línea de investigación relacionada con el análisis de los comportamientos de los estudiantes ante estrategias de aprendizaje en las que intervienen dispositivos de los que se ha dado en llamar *nuevas tecnologías*.

## **6. Referencias bibliográficas**

- ACEVEDO, J.A., BOLÍVAR, J.P., LÓPEZ-MOLINA, E.J. y TRUJILLO, M. (1989). Sobre las concepciones en dinámica elemental de los adolescentes formales y concretos y el cambio metodológico. *Enseñanza de las Ciencias*. 7(1), pp 27-34.
- AYENSA, J. M., CABIA, A. y SAIZ, M. C. (1996) *Esquemas conceptuales de los alumnos de Enseñanza Media*. Calahorra. La Rioja. CEPr.
- DRIVER, R., GUESNE, E., y TIBERGHEN, A. (1989) *Ideas Científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid. Morata/MEC.

- CARRASCOSA, J y GIL, D. (1992) Concepciones alternativas en mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*. 10 (3), pp 314-328.
- CLEMENT, J. (1982) Students preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*. 50 (1), pp 66-71.
- GUTIÉRREZ GONCET, R. (1994). *Coherencia del pensamiento espontáneo y causalidad. El caso de la Dinámica elemental*. Tesis doctoral no publicada. Madrid. Universidad Complutense.
- HEWSON P.W. (1990) La enseñanza de «fuerza y movimiento» como cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*. 8 (2), pp 157-172.
- HERRÁN, C. Y PARRILLA, J. L. (1994) La utilización del ordenador en la realización de experiencias de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), pp 393-399.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1989) *La Ciencias de los alumnos (su utilización en la didáctica de la Física y Química)*. Madrid. LAIA/MEC.
- HIERREZUELO et al (1993) *Ciencias de la Naturaleza. Física y Química. Educación Secundaria 4º curso*. Vélez-Málaga. Elzevir.
- McDERMOTT, L. C. (1984) Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, July 1984.
- OSBORNE, R. J. Y FREEMAN, J. (1989). *Teaching Physics. A guide for non specialist*. Cambridge University Press.
- PALACIOS, C., DEL MORAL PÉREZ, M<sup>a</sup> E. y VARELA M<sup>a</sup> P. *Conocimientos científicos en la escuela. (Resultados de la investigación IAP92)*. Madrid. CIDE. MEC.
- POZO, J.I. (1987) *Aprendizaje de la Ciencia y pensamiento causal*. Visor Libros. Madrid.
- ROSADO y colaboradores (1992, 1993, 1994, 1995 y 1996) *Didáctica de la Física y sus nuevas tendencias*. Madrid. UNED.
- SEBASTIÁ, J.M. (1984) Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*. 2(3), pp 161-169.
- TROWBRIDGE, D.E. y McDERMOTT, L.C. (1981) Investigation of students understanding of the concept to acceleration in one dimension. *American Journal of Physics*. St Louis, 49(3) 242-257.
- VIENNOT, L. (1979) *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris. Hermann.
- VIENNOT, L. (1996) *Raisonnement en Physique. La part du sens commun*. Paris. De Boeck Université. (Coll. Pratiques Pédagogiques).

### **ANEXO I: Cuestionario de detención de ideas alternativas en caída libre.**

1. John está asomado a la ventana del segundo piso. Tiene en su mano dos bolas iguales, del mismo tamaño, una de plomo y otra de aluminio. Peter está en la planta baja esperando que John deje caer las dos bolas al mismo tiempo.

- (a) ¿La bola de plomo llegará antes, al mismo tiempo o después que la de aluminio?  
 (b) ¿Cuál de las dos llevará mayor velocidad al llegar al suelo?, ¿será igual?

Razona las respuestas en ambos casos.

2. John deja caer la bola de plomo, Rose y Peter la ven pasar por la ventana del primer piso y la planta baja, respectivamente.

- (a) ¿Cuál crees que será mayor, la velocidad medida por Rose o la medida por Peter?. ¿Será la misma?  
 (b) ¿Cuál crees que será mayor, la aceleración medida por Rose o la medida por Peter?, ¿Será la misma?  
 (c) ¿Si cae desde una altura doble, se puede afirmar que la velocidad es el doble?  
 ¿Se puede afirmar que tarda el doble en llegar al suelo?

Razona las respuestas.

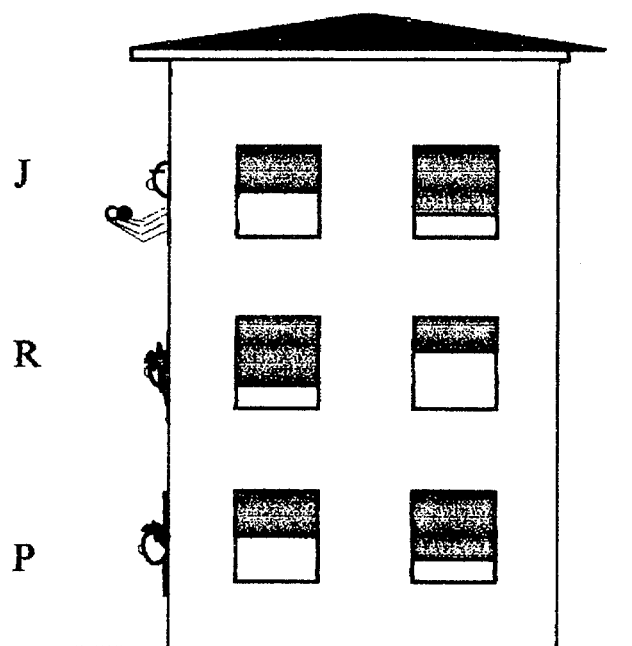


Figura 1. John deja caer dos bolas de diferente material en el mismo instante

## ANEXO II: Tabla resumen de datos

Porcentajes de respuestas a la cuestión 1 (a) clasificadas, en Pre test y Pos test

Grupo	N	Correcta (con explicación) %		Correcta (sin explicación) %		Tipo I (menor t la de Pb) %		Otras respuest. (incluye NC) %		Total incorrectas %	
		Pretest	Postest	Pretest	Postest	Pre t.	Pos t.	Pre t.	Pos t.	Pre test	Pos test
Experim. I	22	23	55	5	33	67	6	5	6	72	12
Control I	29	24	53	8	20	64	17	4	10	68	27
Experim. II	22	5	70	23	10	62	15	10	5	72	18
Control II	30	10	48	11	34	70	7	8	10	79	17

Tabla 1



**Porcentajes de respuestas a la cuestión 1 (b) clasificadas, en Pre test y Pos test**

Grupo	N	Correcta (con explicación) %		Correcta (sin explicación) %		Tipo I (menor t la de Pb) %		Otras respuest. (incluye NC) %		Total incorrectas %	
		Pretest	Postest	Pretest	Postest	Pre t.	Pos t.	Pre t.	Pos t.	Pre test	Pos test
Experim. I	22	31	60	5	23	54	9	5	9	59	18
Control I	25	25	50	15	16	52	10	8	17	60	34
Experim. II	22	9	82	5	8	72	10	14	0	86	10
Control II	30	14	67	10	13	63	15	13	5	76	20

Tabla 2

**Porcentajes de respuestas a la cuestión 2 (a) clasificadas, en Pre test y Pos test**

Grupo	N	Correcta (con explicación) %		Correcta (sin explicación) %		Tipo I (menor t la de Pb) %		Otras respuest. (incluye NC) %		Total incorrectas %	
		Pretest	Postest	Pretest	Postest	Pre t.	Pos t.	Pre t.	Pos t.	Pre test	Pos test
Experim. I	22	50	63	10	9	18	14	22	14	40	28
Control I	25	72	50	8	13	12	20	8	7	20	27
Experim. II	22	57	55	0	15	33	27	10	15	43	30
Control II	30	71	65	7	10	16	20	4	10	20	30

Tabla 3

**Porcentajes de respuestas a la cuestión 2 (b) clasificadas, en Pre test y Pos test**

Grupo	N	Correcta (con explicación) %		Correcta (sin explicación) %		Tipo I (menor t la de Pb) %		Otras respuest. (incluye NC) %		Total incorrectas %	
		Pretest	Postest	Pretest	Postest	Pre t.	Pos t.	Pre t.	Pos t.	Pre test	Pos test
Experim. I	22	55	69	5	13	22	9	18	9	40	18
Control I	25	30	52	3	8	44	35	22	5	66	40
Experim. II	22	33	52	15	52	22	28	20	10	42	36
Control II	30	8	50	4	8	48	26	40	16	88	42

Tabla 4

Grupo	N	Correcta (con explicación) %		Correcta (sin explicación) %		Tipo I (menor t la de Pb) %		Otras respuest. (incluye NC) %		Total incorrectas %	
		Pretest	Postest	Pretest	Postest	Pre t.	Pos t.	Pre t.	Pos t.	Pre test	Pos test
Experim. I	22	23	32	5	16	62	27	10	27	72	54
Control I	25	20	30	8	17	28	17	44	36	72	53
Experim. II	22	10	14	32	10	23	40	35	36	58	76
Control II	30	13	10	10	7	10	7	44	76	54	83

Tabla 5

### ANEXO III: Programa guía de actividades en el estudio experimental de la caída libre

#### Actividad 1.

Vimos en el laboratorio el movimiento de un cuerpo a lo largo de un plano inclinado sin rozamiento (un cuerpo deslizando a lo largo del 'banco de aire').

(a) ¿Cómo es el movimiento de un cuerpo que desciende por un plano inclinado sin rozamiento?

(b) A título de hipótesis, cómo crees que será el movimiento de un cuerpo si se deja caer desde cierta altura?. Escribe las ecuaciones características de este tipo de movimiento (velocidad en función de t y posición y en función de t)

#### Actividad 2.

En las experiencias de caída a lo largo de un plano inclinado sin rozamiento no estudiamos los factores de los que depende la aceleración de caída. Indica, a título de

hipótesis, de qué factores crees que dependerá la aceleración del cuerpo que desciende sin rozamiento. Señala la relación que habrá (da una respuesta cualitativa) entre los factores que crees que influyen y la aceleración con que cae.

### Actividad 3.

Diseña experiencias de laboratorio, utilizando el banco de aire y el ordenador, para comprobar las hipótesis emitidas. Explica qué harías y construye las tablas de datos necesarias e indica qué cálculos o qué tipo de análisis realizarás para comprobar dichas hipótesis.

### Actividad 4.

Realiza las experiencias y toma los datos obtenidos en las tablas que has construido. En el análisis de datos interesa saber:

- (a) Si depende de la inclinación del plano (carril del banco de aire).
- (b) Si depende de la masa de la deslizadera (cuerpo que desliza por el plano o carril del banco de aire).

### Actividad 5.

Galileo se interesó por el estudio de la caída libre de los cuerpos porque dicho movimiento había interesado a los filósofos desde la antigüedad. Describirlo de forma científica, a partir de la experimentación, significaba poner las bases de una nueva Ciencia: la Mecánica.

De los de movimientos estudiados: rectilíneo uniforme y rectilíneo uniformemente variado, ¿cuál crees que da una idea correcta de lo que sucede en la caída libre?, ¿por qué?

### Actividad 6.

Lee el siguiente fragmento, del libro de Galileo: *'Consideraciones y demostraciones matemáticas concernientes a dos nuevas ciencias'*.

**Salviati:** *Dudo que Aristóteles haya comprobado experimentalmente que si dejamos caer dos piedras, al mismo tiempo, desde una altura de 100 metros, siendo diez veces más pesada que otra, llega suelo antes que la otra que haya recorrido 10 m.*

**Simplicio:** *Su lenguaje parece indicar que él había llevado a cabo el experimento, ya que dice: Vemos el más pesado, la palabra "vemos" indica que se había hecho el experimento.*

**Sagredo:** *Pero, Simplicio, yo que he hecho la experiencia, puedo asegurarte que una bala de cañón que pesa más de 50 kg. no llega al suelo 20 cm por delante de una bala de mosquete que sólo pesa medio kg., siempre que ambas caigan al suelo desde una altura de 100 m.*

**Simplicio:** *... sin embargo, yo no encuentro fácil creer que un perdigón caiga con la misma velocidad que una bala de cañón.*

**Salviati:** *¿Por qué no decir un grano de arena, tan rápidamente como una piedra de molino? Pero, Simplicio, tengo la esperanza de que no seguirás el ejemplo de muchos otros, que desvían la discusión del punto principal y dicen que algunas de mis afirmaciones se apartan de la verdad por un cabello, y por este cabello esconden las faltas de otras teorías tan gruesas como el cable de un navío. Aristóteles dice que 'una esfera de hierro de 100 kg., cayendo desde una altura de 100 m, llega a tierra antes que una bola*

*de un kg. haya caído un simple metro". Yo digo que las dos llegan al mismo tiempo. Tú encuentras al hacer la experiencia, que la más pesada adelanta a la más ligera en dos o tres dedos...; ahora bien, no puedes esconder detrás de esos dos dedos los 99 metros de Aristóteles, ni puedes mencionar un pequeño error, y al mismo tiempo pasar en silencio el suyo, mucho mayor.*

- (a) Explica con brevedad la postura u opinión de cada interlocutor en este diálogo.
- (b) ¿Cuál crees que tiene razón?. Justifica tu respuesta.

### **Actividad 9.**

Galileo tenía pocas posibilidades de medir velocidades instantáneas de un cuerpo cuando cae y efectuar medidas de tiempo con mucha precisión. Diseña una experiencia de laboratorio para comprobar tu hipótesis. Para ello, dispones de sensores y ordenador, que permitan obtener datos de velocidad y tiempo en diferentes puntos de la trayectoria de caída. Elabora una tabla adecuada para recoger los datos.

### **Actividad 10.**

En el laboratorio se dispone de tres bolitas de tamaños muy parecidos, pero son de distinto material y masas diferentes.

Bola de hierro,  $m_1 = 16,5$  g; Bola de vidrio,  $m_2 = 5,8$  g; bola de plástico,  $m_3 = 1,4$  g

¿Cuál de ellas crees que llegará antes al suelo, si se dejan caer desde cierta altura?. ¿Cuál de ellas llevará mayor velocidad en el punto final?.

### **Actividad 11.**

Realiza las experiencias y analiza los resultados. En particular, debes hallar: la velocidad de cada bolita en diferentes puntos de su trayectoria, la aceleración de caída y el tiempo que tardan en caer desde la misma altura.

¿Qué conclusiones se obtienen del análisis de los datos?

## **ANEXO IV: Descripción del material y las experiencias de caída libre controladas por el ordenador**

### **1. El ordenador en experiencias de laboratorio controladas por ordenador (ELAO)**

El ordenador permite efectuar y registrar medidas de tiempo, temperatura, velocidad, potenciales, etc, siempre que dispongamos de sensores que detectan un cambio en las condiciones del medio físico (interrupción de un haz de luz, cambio de un potencial del medio, de la resistencia, etc). Estos sensores envían una señal que podemos codificar, transformándola de analógica a digital, que puede ser tratada informáticamente. Para ello se necesita un sensor, un convertidor de señal y una tarjeta de adquisición de datos. El tipo de sensor depende de la magnitud que se desea medir. El convertidor de la señal es un interface, o dispositivo que permite introducir en el ordenador una señal binaria (0 o 5 V) de baja intensidad, que además evita la destrucción de elementos del circuito

del ordenador, y se conecta a una tarjeta que controla las señales que llegan al ordenador. La tarjeta está insertada en la placa base del PC.

El esquema de la figura 1 representa la comunicación del ordenador con los sensores.

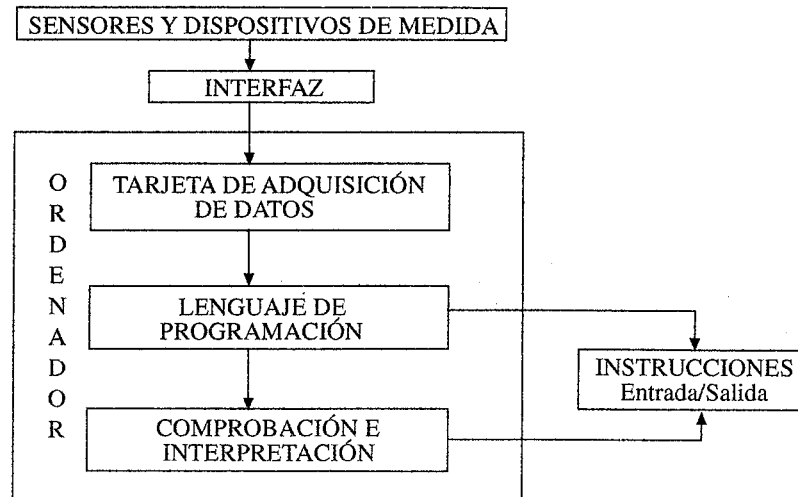


Figura 1. Comunicación del ordenador con dispositivos de medida en el laboratorio (Ayensa y Rosado 1996).

## 2. Descripción del equipo

En las experiencias de caída libre y banco de aire se utilizaron los dispositivos comunes que se mencionan a continuación. También se describen con brevedad las características fundamentales de cada uno de los aparatos o materiales necesarios.

- *Microordenador* con las características siguientes: Microprocesador Intel 80486 a 33 MHz, de 4 Mb de memoria RAM, disco duro de 110 Mb, monitor de 14 pulgadas (tarjeta VGA).
- *Tarjeta de adquisición de datos*. Es una tarjeta controladora de las señales que llegan del Interface, que se instala en una ranura (slot) de expansión del ordenador, proporcionada por el proveedor (JEULIN). Se conecta al interface mediante un conector el paralelo.
- *Programa ACTIMECA* que permite traducir las señales adquiridas a través de la tarjeta, visualizar los resultados en la pantalla del ordenador y efectuar tratamiento estadístico de los datos. Tanto los resultados como las gráficas y curvas obtenidas se pueden imprimir en impresora de matriz de puntos (el programa no permite la instalación y configuración de impresoras de chorro de tinta o láser).
- *Interface*. Lo proporciona la casa proveedora. Es un dispositivo que permite conectar y comunicar el microordenador con cualquier periférico. Va conectado a la tarjeta controladora que están insertada en la placa-base del ordenador, mediante un conector paralelo.
- *Adaptadores cronocinéticos*. Sirven para conectar los sensores al interface, y sirven para distribuir la señal de entrada/salida del interface a los sensores. El disparador se une al conector 0, y cada uno de los sensores, por orden al interface

(de acuerdo con el orden de interrupción del haz luminoso de los sensores, es decir, el orden en que se colocan en la barra soporte de la experiencia de caída libre).

- *Sensores de velocidad o cronocinéticos.* Tienen dos emisores de haz luminoso separados 1 cm, y dos fototransistores que captan el haz de luz correspondiente. Cuando se interrumpe dicho haz, envían una señal al ordenador, quien la traduce poniendo en marcha el reloj interno o interrumpiéndolo. El haz tiene una frecuencia fuera del espectro visible, para no verse afectados por la luz ambiental.
- *Sensores crono o sensores de inicio.* Tienen un solo emisor y fototransistor. Ponen en marcha el reloj interno, de modo que los cronocaptadores efectúan las medidas refiriéndolas al reloj interno, que ha sido puesto en marcha por el sensor crono. De este modo, cuando se pone en marcha el reloj, la velocidad del objeto no es cero. Permite efectuar medidas de caída libre o de plano inclinado de un objeto que tiene velocidad inicial.
- El *disparador* es un sensor que pone en marcha el reloj interno cuando se lanza o deja caer un objeto desde él. La velocidad inicial del objeto es siempre cero.

La figura 3 muestra un detalle de un cronocaptador y su conexión a la interface, del que se ha representado su vista superior. En la figura 4 se muestra el montaje completo para el estudio de la caída libre de un cuerpo. En una barra milimetrada, sujeta a un soporte, que se apoya en el suelo, se coloca un sensor de disparo (disparador) y otros cuatro sensores a las distancias que se deseen, que permitirán obtener velocidad y tiempo en cada una de las posiciones correspondientes. El cuerpo que se deja caer es ser una bolita de cualquier masa que tenga un tamaño comprendido entre 1'4 y 1'8 cm de diámetro que se coloca en el disparador. Éste posee un sensor que pone en marcha el cronómetro al presionar el dispositivo de disparo. Al pasar la bolita por cada uno de los cronocaptadores, se envían señales (tres por cada cronocaptador) a partir de las cuales el ordenador devuelve datos de tiempo y velocidad de la bolita al paso por cada sensor. Estos datos se observan en la pantalla y pueden registrarse en un fichero si se desea.

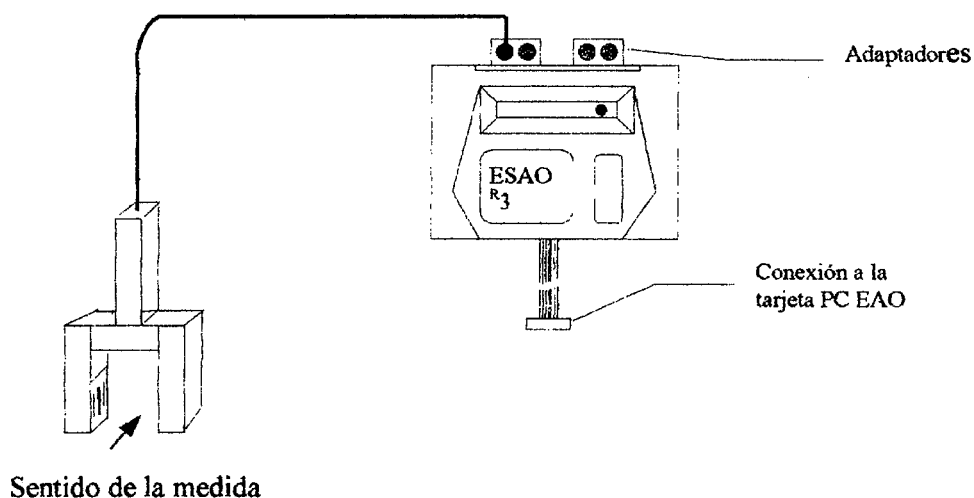


Figura 3. Cronocaptador (ampliado) conectado a la interface.

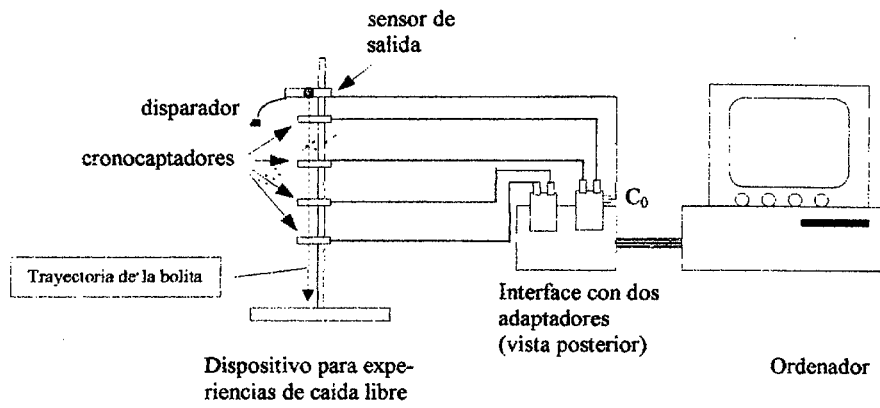
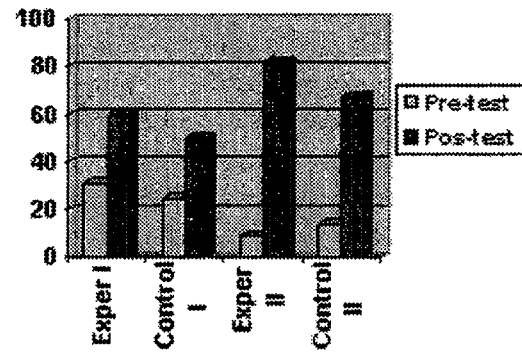
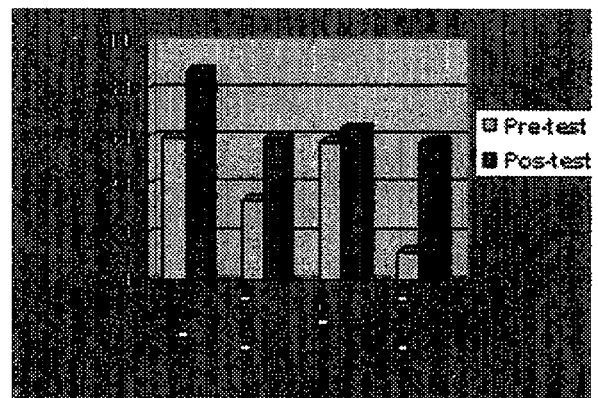
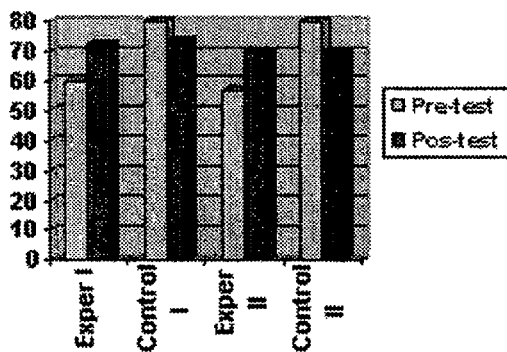


Figura 4. Dispositivo completo para medir velocidad y tiempo en la caída libre.



Gráficas 1 y 2. Porcentaje de respuestas correctas con explicación



Gráficas 3 y 4. Porecentaje de respuestas correctas con explicación, cuestión 2.