

¿Qué hacemos si no coinciden la teoría y el experimento? (o los obstáculos de la realidad)

Jordi Solbes

IES J. Rodrigo Botet.
Manises (Valencia)

Francisco Tarín

IES L'Om de Picassent
(Valencia)

En este trabajo intentamos ver qué consecuencias puede tener el que se hagan tan pocas prácticas. A continuación nos planteamos diseñar algunas prácticas sobre la conservación de la energía utilizando materiales de la dotación usual de los institutos, para ver si con ellos se pueden superar los obstáculos de la realidad, y encontramos que en una de ellas aparentemente no se conserva la energía. Esto nos llevó a un diálogo con los alumnos sobre qué se puede hacer en tal caso, enseñándoles algunos procedimientos o estrategias usuales en la ciencia (el cambio de modelos), pero ausentes en la enseñanza de la misma.

Palabras clave: *energía, trabajos prácticos, modelos, cambio de procedimientos y actitudes.*

What do we do when experiments don't agree with theory? – Obstacles to reality

In this article we look at the possible consequences of the fact that students do so few practical lessons and we put forward some ideas for practicals to help us overcome these obstacles to reality. Based on the subject of the conservation of energy, these practical lessons use materials that are commonly available in schools. When the results of one lesson appear to suggest that energy is not conserved, we can discuss with students what to do in such a case. This then enables us to teach them a series of procedures and strategies (viz. changing the model) which although common in science practice are absent in science teaching.

Keywords: *energy, practical work, models, changing procedures and approaches.*

A finales de los 80, diversas investigaciones (Yager y Penick, 1986; Solbes y Vilches, 1989; Matthews, 1990) ponen de manifiesto una disminución del interés por las ciencias, y los propios estudiantes señalan como causa de la misma una enseñanza de las ciencias descontextualizada (sin relaciones CTS), poco útil, sin temas de actualidad, con clases aburridas y poco participativas, con un gran fracaso en las evaluaciones y sin apenas trabajo práctico. Nos centraremos en este último aspecto.

Veinte años después (parafraseando a Dumas), la situación respecto a los trabajos prácticos no ha cambiado mucho y sigue mencionándose su ausencia como una causa de desinterés, el cual ha aumentado considerablemente. Lo que han cambiado son las causas de esta ausencia. Antes se hablaba de la falta de material o de las ratios elevadas. Actualmente las dotaciones han mejorado y las ratios han disminuido, entre otras cosas porque los alumnos no cursan asignaturas científicas. En efecto, entre los años 1997 y 2005, se ha producido una reducción

del 38% del alumnado en física, del 35% en química y del 22% en biología, entre los alumnos presentados a las PAU en la provincia de Valencia. Por otra parte, sólo 1 de cada 5 alumnos que eligen física y matemáticas en 2.º de bachillerato son chicas.

Incluso en un tema tan importante como el del trabajo y la energía, que se imparte tanto en 4.º de ESO como en 1.º de bachillerato, en una tesis doctoral reciente sobre el principio de conservación de la energía y sus implicaciones didácticas, se detecta en un análisis exhaustivo de 34 libros de texto que apenas existen prácticas de laboratorio sobre dicho principio (Solbes y Tarín, 1998). Por otra parte, en los trabajos prácticos relacionados de cinemática y dinámica encontramos que mayoritariamente las prácticas continúan planteándose como una receta y utilizándose para verificar una ley dada, sin tener en cuenta las diversas críticas y propuestas que se han planteado al respecto (Gil y Payá, 1988; González, 1992; AA.VV., 1995; Caamaño, 2004).

En principio, esto se puede atribuir a la tendencia usual a primar los contenidos tradicionales (formulismo, problemas cuantitativos, etc.), acentuada por el decreto de Humanidades. Pero en el caso de la energía, el tema era más complejo y, por ello, nos preguntamos en primer lugar: ¿por qué se hacen tan pocas prácticas sobre la conservación de la energía? A continuación, nos planteamos diseñar algunas prácticas utilizando materiales de la dotación usual de los institutos, para ver si con ellos se podían superar los obstáculos que plantea la realidad. Por último, encontramos que en uno de ellos aparentemente no se conserva la energía. Esto nos llevo a preguntar a los alumnos qué se podía hacer en tal caso, y, en el debate que se suscitó, enseñarles algunos procedimientos o estrategias usuales en la ciencia, pero ausentes en la enseñanza habitual de la misma.

¿Por qué se hacen tan pocas prácticas sobre conservación de la energía?

Inicialmente pensamos que esto era debido a que los montajes eran redundantes con cinemática y dinámica. En efecto, como la caída libre (el ejemplo paradigmático de MRUA y también de conservación de la energía) es muy rápida, en cinemática se utiliza en su lugar la caída por un plano inclinado (la histórica experiencia de Galileo) o la máquina de Atwood, dejando caer las pesas desde distintas alturas. También se suelen utilizar estas mismas prácticas en dinámica para demostrar que $F/a=m$. En efecto, habitualmente encontramos en este tema:

- El plano con inclinación variable.
- La máquina de Atwood, cambiando pesas de un lado al otro, para que la fuerza varíe y la masa permanezca constante.
- Carrito, polea y pesas (una variante de la anterior).

Cuando se utiliza el plano inclinado y cronómetros ordinarios para estudiar el MRUA, es conveniente usar barras largas y acanaladas de madera o aluminio (1,5 o 2 m). En este caso se estudia la proporcionalidad entre el espacio e y la inversa del tiempo al cuadrado $1/t^2$, ya que $a = 2e/t^2$. Cuando se usa para comprobar la ley de Newton, se analiza la proporcionalidad entre el ángulo del plano (proporcional a la fuerza F) y $1/t^2$ (proporcional a la aceleración a). En la máquina de Atwood, la fuerza se mide directamente, a partir del peso, y la aceleración a partir de $1/t^2$, como en los otros. Y como se trata de proporcionalidades, las cosas funcionan bien sea cual sea el montaje, como aclararemos al final.

Ahora bien, cuando se intenta estudiar la conservación de la energía, no basta con proporcionalidades: hay que trabajar con igualdades, y entonces tenemos problemas. Determinar la energía potencial E_p no presenta dificultades, ya que ésta sólo depende de la altura, pero para determinar la energía cinética E_c hay que obtener el tiempo t para distintos espacios e y calcular así la velocidad v. Pero con cronómetros, aunque la regla sea larga, no hay suficiente precisión. En consecuencia, la realización de esta práctica superaba sin duda las posibilidades de los laboratorios de instituto.

Por otra parte, tampoco las experiencias de la vida cotidiana (las pelotas que rebotan, los cuerpos en movimiento que acaban parándose, etc.) parecen muy favorables al principio de conservación. Por ello, no es extraño que al final muchos libros acaben optando por hacer simplemente que los estudiantes propongan el diseño de un montaje experimental para contrastar la conservación, pero sin realizarlo en ninguna situación particular, y proponer algún problema numérico que ponga de manifiesto la conservación de la energía como, por ejemplo, el siguiente:

Un cuerpo de 4 kg cae libremente desde una altura de 2.000 m. Si suponemos que g es constante y despreciable el rozamiento del aire:

- a) Calcula el tiempo total de caída.
- b) Calcula, cada dos segundos contados a partir del instante inicial, el valor de la energía potencial y el de la energía cinética (a partir de los valores de h y de v obtenidos), verificando si la suma de ambas se mantiene constante.
- c) Representa los valores obtenidos de energía potencial, cinética y total en un mismo diagrama.

Para cambiar esta situación, aquí se van a presentar unas prácticas sobre la conservación de la energía realizadas por estudiantes de instituto con materiales de la dotación ordinaria de los mismos, los resultados obtenidos y algunas reflexiones sobre los mismos.

Propuesta

Se puede empezar preguntando a los estudiantes:

- | ¿Por qué en la naturaleza los objetos que se deslizan sobre una superficie acaban parándose, las pelotas que caen rebotan a una altura menor, etc.?
- | ¿Estos procesos incumplen la ley de conservación de la energía?

Una vez realizada la discusión se les puede pedir:

- | Diseña algún montaje experimental para contrastar la ley de conservación de la energía mecánica en alguna situación particular de fácil realización.

Los alumnos pueden concebir montajes experimentales relativamente sencillos, como por ejemplo la caída libre, pero como ésta es muy rápida pueden plantearse la utilización del plano inclinado o de una polea con pesas a ambos lados (máquina de Atwood).

Experiencia 1. Caída libre

El principal inconveniente es que el tiempo de caída es muy breve, lo que se agrava porque los soportes del laboratorio suelen tener poca altura (0,7 m). Afortunadamente, los equipos de ENOSA, que constituyen la dotación usual de muchos centros, incorporan cronómetros con dos puertas fotoeléctricas en forma de U, que permiten cronometrar el tiempo de tránsito entre ellas con una precisión de hasta ms.

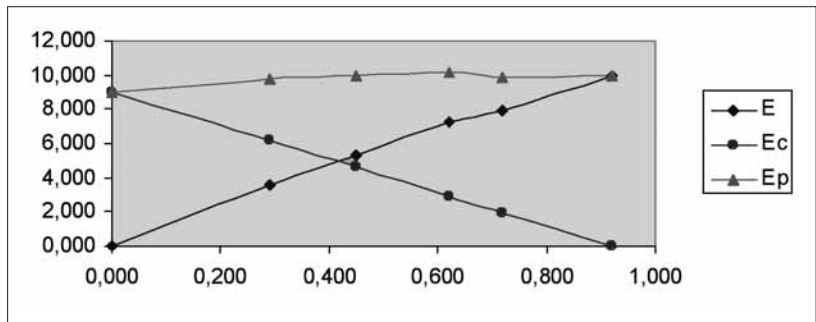
Se construye un soporte de 2 m de altura, se deja la célula superior fija y se va desplazando la inferior unos 0,2 m cada vez. Se deja caer una pelotita de goma desde la célula superior (para que la $v_0 = 0$ m/s) y se determina el tiempo de tránsito en ms, repitiendo el proceso 3 veces. Al realizar la quinta medición apareció un nuevo obstáculo. Se realiza la experiencia y se tratan los resultados obtenidos con hojas de cálculo (Excel), para familiarizar a los estudiantes con el uso científico de las mismas, contribuyendo a lo que algunos autores (Echevarría, 2002) denominan alfabetización en las TIC. Como se ha realizado una determinación aceptable del tiempo t , esto nos permite determinar la velocidad para cada posición, teniendo en cuenta que $v = at$, donde como $e = at^2/2$, entonces $v = 2e/t$ y la $E_c = mv^2/2$ (véase la tabla 1 y el cuadro 1).

Se puede comprobar en la tabla de resultados que, como cabía esperar, la energía potencial disminuye linealmente con la altura, la energía cinética aumenta linealmente con la distancia recorrida y la energía total es prácticamente constante, pero en este caso la precisión no es muy grande, aunque aceptable si se compara con la que se puede obtener con cronómetros convencionales. Se puede preguntar a los estu-

Tabla 1

t1	t2	t3	t (s)	e(m)	v(m/s)	Ec(J/kg)	h(m)	Ep(J/kg)	E(J/kg)
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,920	9,016	9,016
0,211	0,224	0,217	0,217	0,290	2,669	3,561	0,630	6,174	9,735
0,275	0,275	0,276	0,275	0,450	3,269	5,342	0,470	4,606	9,948
0,326	0,325	0,326	0,326	0,620	3,808	7,249	0,300	2,940	10,189
0,361	0,359	0,365	0,362	0,720	3,982	7,926	0,200	1,960	9,886
0,417	0,409	0,410	0,412	0,920	4,466	9,973	0,000	0,000	9,973

Cuadro 1



diantes a qué es debida la falta de precisión y qué pueden hacer para mejorar los resultados.

Comentan que es muy difícil hacer pasar el cuerpo por las dos puertas fotoeléctricas con forma de U simultáneamente, cuando éstas equidistan más de un metro, lo que limita el número de mediciones. Para mejorarlo proponen utilizar tubos de vidrio transparentes para evitar que la bola impacte con la célula inferior y poder tomar así más medidas. Esto no descarta el experimento, siempre que se acompañe de otros. Evidentemente, estos resultados serían más precisos con otros medios técnicos, como con un sónar conectado a un ordenador, que aún no forma parte de la dotación usual de los centros, aunque se encuentra ya presente en los laboratorios de los primeros cursos de la universidad.

Experiencia 2. El plano inclinado

Los equipos de ENOSA incorporan planos inclinados cortos (1 m), pero anchos, que permiten apoyar las células fotoeléctricas. La veloci-

dad se determina como en el caso anterior y, como la inclinación era de 10° , la altura como $h = \Delta e \cdot \text{sen}\theta$. En este caso no hay obstáculos técnicos, y para conseguir que la v_o sea nula, basta con utilizar una tarjeta entre la primera célula fotoeléctrica y la bola. Se realizan las mediciones con facilidad, se tratan los resultados con Excel y se obtienen los resultados que muestran la tabla 2 y el cuadro 2:

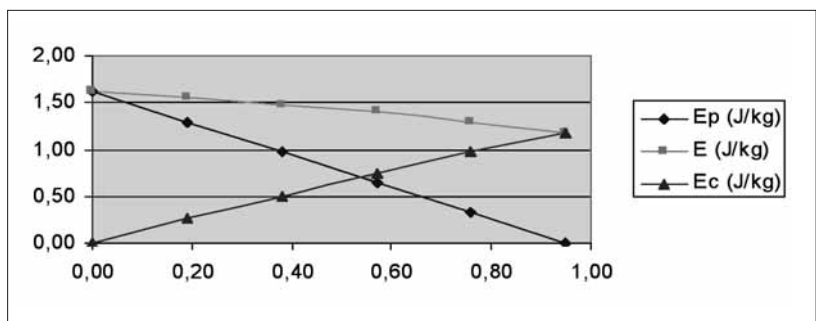
Los estudiantes se quedan sorprendidos por los resultados, que ponen de manifiesto que la energía no se conserva.

Se les pregunta a qué puede deberse esto. Se inicia un diálogo en el que mencionan errores de medición u obstáculos de tipo técnico, como sucedía en la experiencia anterior. Ambas cosas se descartan, ya que todos los grupos han obtenido resultados similares. No le encuentran explicación, aunque alguno hace notar que la energía cinética no crece al mismo ritmo que decrece la potencial. El profesor puede aprovechar esto para señalar que si los resultados experimentales son correctos, el problema puede estar en el modelo teórico utilizado. Esto permite mostrar algunas estrategias usuales de la ciencia. En primer lugar, la necesi-

Tabla 2

t1	t2	t3	t (s)	e (m)	v (m/s)	h (m)	Ec (J/kg)	Ep (J/kg)	E (J/kg)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	1,62	1,62
0,53	0,55	0,51	0,53	0,19	0,72	0,13	0,26	1,29	1,55
0,76	0,75	0,78	0,76	0,38	1,00	0,10	0,50	0,97	1,47
0,93	0,92	0,94	0,93	0,57	1,23	0,07	0,75	0,65	1,40
1,08	1,09	1,10	1,09	0,76	1,39	0,03	0,97	0,32	1,30
1,23	1,26	1,23	1,24	0,95	1,53	0,00	1,17	0,00	1,17

Cuadro 2



dad de hacer aproximaciones para estudiar los sistemas. Esto se pone de manifiesto muy pocas veces en los libros de secundaria. La más importante de ellas es utilizar un modelo del sistema, que es una representación más simple y conocida de un sistema complicado o poco conocido. En segundo lugar, la necesidad de cambiar de modelo teórico cuando éste no es capaz de predecir los resultados experimentales. Esto, en secundaria, sólo se muestra en teoría (al tratar los modelos atómicos o de la luz), pero nunca en los experimentos que sirven como verificación de leyes. Aunque el sistema estudiado es sencillo, quizás las aproximaciones realizadas lo hagan demasiado simple. Efectivamente, los estudiantes han considerado que la energía cinética es $E_c = mv^2/2$, como en el caso anterior. Pero la bola no se desliza, sino que rueda y, en consecuencia, la energía cinética debe incluir, además de la traslación del CM, la rotación alrededor del CM.

En las asignaturas de mecánica, optativa de 2.º de bachillerato (o en optativas autonómicas, como la física aplicada o similares), en las que se estudia el sólido rígido, ésta es una práctica muy adecuada. Por otra parte, es una experiencia habitual en la cinemática de 1.º de bachillerato o de 4.º de ESO para estudiar el MRUA y, si se conservan los datos en Excel, se pueden utilizar más adelante para estudiar la conservación de la energía. En 1.º es más adecuada porque se ha estudiado el movimiento circular y se sabe que $w = v/r$. Los alumnos se pueden plantear que la $E_{c(\text{rot})} = I\omega^2/2$ y si tenemos en cuenta que el momento de inercia de una esfera es $I = 2mr^2/5$, entonces la $E_{c(\text{rot})} = mv^2/5$. En consecuencia, si se suma esta expresión a la de traslación, queda claro que la energía cinética total es $E_c = 0,7 mv^2$. Si queremos hacerlo sin recurrir a la dinámica del sólido rígido, nos limitamos a mostrar que es plausible haciéndoles comprender que necesitamos un nuevo modelo teórico que incluya traslación y rotación y, en consecuencia, la E_c tiene que ser mayor que $0,5 mv^2$ para incluir no sólo la E_c de traslación sino también la de rotación. Si utilizan la nueva expresión de la energía cinética, con los mismos datos experimentales, obtienen los valores que muestran la tabla 3 y el cuadro 3.

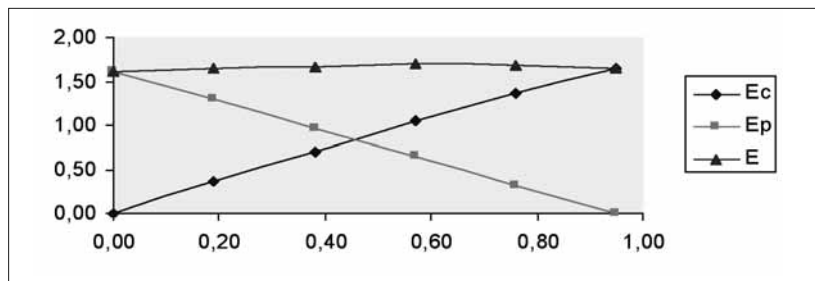
El análisis de los resultados pone de manifiesto que éstos son muy aceptables: la energía potencial disminuye linealmente con la altura, la energía cinética aumenta linealmente con la distancia recorrida y la energía total es prácticamente constante.

Esto pone de manifiesto por qué cuando se utiliza el plano inclinado para estudiar el MRUA, si simplemente nos limitamos a representar la relación entre el espacio e y la inversa del tiempo al cuadrado $1/t^2$ se obtiene una recta, con lo que parece verificarse que $e = at^2/2$. Pero si uno no se limita a la proporcionalidad e intenta profundizar más y de-

Tabla 3

Ec (J/kg)	Ep (J/kg)	E (J/kg)
0,00	1,62	1,62
0,36	1,29	1,65
0,69	0,97	1,66
1,05	0,65	1,70
1,36	0,32	1,68
1,64	0,00	1,64

Cuadro 3



terminar la aceleración calculando la pendiente de la recta, no obtiene $a = g \sin \theta$, que correspondería a una bola que se desliza, sino que los valores experimentales se ajustan mejor con las aceleraciones teóricas de una bola que rueda, $a = (5/7)g \sin \theta$.

Experiencia 3. La máquina de Atwood

En este caso la caída libre de las pesas es decelerada por las pesas del otro lado, con lo cual aparentemente se podrían obtener buenos datos experimentales. Sin embargo, los obstáculos de la realidad intervienen e impiden que esto sea así. En muchos casos el cronómetro no se detenía al pasar las pesas por la segunda célula fotoeléctrica, posiblemente porque ésta era sensible al propio hilo.

Conclusiones

Estas prácticas constituyen una evidencia más de la importancia de la tecnología para el desarrollo de la ciencia, ya que sin el nuevo instrumento no es posible comprobar la conservación de la energía.

También ponen de manifiesto que las prácticas no son simplemente llegar y medir, y que la realidad plantea obstáculos que los investigadores tienen que superar, que hacen que los resultados de la primera

experiencia no sean completamente satisfactorios e impiden la realización de la tercera experiencia.

Asimismo permiten mostrar, como ya hemos señalado, algunas estrategias usuales de la ciencia que se ven muy pocas veces en los libros de secundaria. En primer lugar, la necesidad de hacer aproximaciones para estudiar los sistemas, de modelizar. En segundo lugar, la necesidad de cambiar de modelo teórico cuando éste no es capaz de predecir los resultados experimentales.

Por último, señalar el interés que despertó en los estudiantes la realización de estas prácticas, que se evidencia no sólo en el mucho tiempo que dedicaron (incluso extraescolar), sino en los muchos intentos (y configuraciones) que realizaron para obtener resultados con la tercera experiencia. Interés que es muy difícil despertar con los contenidos cuantitativos tradicionales.

En conclusión, si se quiere mejorar el interés de los estudiantes, los libros y las clases de física y química deberían incluir en todos los temas algún trabajo práctico de laboratorio, pequeñas experiencias y actividades de historia de la ciencia (Solbes y Traver, 1996) y de relaciones CTS (AA.VV., 2000). Cuando los experimentos no sean posibles se pueden sustituir por *applets*, si bien los primeros son preferibles, porque nos muestran los obstáculos que plantea la realidad, los cuales desaparecen en los *applets*.

Nota

(*) AGRADECIMIENTOS: A los alumnos del Rodrigo Botet que participaron con interés en la experiencia y a la primera convocatoria del Experimenta de la Universitat de València, que contribuyó a motivarlos al ofrecerles la posibilidad de hacer pública su experiencia.

Referencias bibliográficas

- AA.VV. (1995): «Los trabajos prácticos» en *Alambique*, n. 2, pp. 6-67.
- AA.VV. (2000): «Energía y sociedad» en *Alambique*, n. 24, pp. 5-42.
- CAAMAÑO, A. (2003): «Los trabajos prácticos en ciencias» en JIMÉNEZ, M.P (coord.); CAAMAÑO, A.; OÑORBE, A.; PEDRINACI, E.; DE PRO, A.: *Enseñar Ciencias*. Barcelona. Graó.
- GIL, D.; PAYÁ, J. (1988): «Los trabajos prácticos de Física y Química y la metodología científica» en *Revista de Enseñanza de la Física*, n. 2, pp. 73-79.
- GONZÁLEZ, E. (1992): «¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos?» en *Enseñanza de las Ciencias*, n. 10, vol. 2, pp. 206-211.
- ECHEVARRÍA, J. (2002): *Ciencia y valores*. Barcelona. Destino.
- MATTHEWS, M. R. (1990): «History, Philosophy and Science: A Rapprochement» en *Studies in Science Education*, n. 18, pp. 25-51.

- SOLBES, J.; TARÍN, F. (1998): «Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía» en *Enseñanza de las Ciencias*, n. 16, vol. 3, pp. 387-397.
- SOLBES, J.; TRAVER, M. (1996): «La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química» en *Enseñanza de las Ciencias*, n. 14, vol. 1, pp. 103-112.
- SOLBES, J.; VILCHES, A. (1989): «Interacciones ciencia-técnica-sociedad: un instrumento de cambio actitudinal» en *Enseñanza de las Ciencias*, n. 7, vol. 1, pp. 14-20.
- YAGER, R.E.; PENICK, J.E. (1986): «Perception of four age groups towards science classes, teachers and values of science» en *Science Education*, n. 70, pp. 353-356.

*Direcciones
de contacto*

Jordi Solbes
IES J. Rodrigo Botet. Manises (Valencia)
jordi.solbes@uv.es
Francisco Tarín. IES de L'Om de Picassent (Valencia)
ftarinma@ono.com

Este artículo fue recibido en *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* en julio de 2005 y aceptado para su publicación en noviembre de 2006.