



Cinco experiencias sencillas de física moderna

Rafael Garcia-Molina
Universidad de Murcia

El repertorio de experiencias de física que se suelen llevar a cabo tanto en los centros educativos como en las ferias científicas contiene principalmente una representación de fenómenos que podrían encuadrarse dentro de la denominada física clásica (entendida en sentido amplio como aquella anterior al siglo xx). En este trabajo se presentan cinco experiencias de física que sirven para ilustrar algunos de los progresos que tuvieron lugar en la física hasta la primera mitad del siglo xx. De esta forma, se actualiza y se aumenta el catálogo de recursos didácticos prácticos disponible, tanto para motivar como para transmitir conocimiento a los alumnos.

Five simple modern physics demonstrations

The compendium of physics experiments usually carried out in schools and science fairs consists mainly of a representation of phenomena that could be ascribed to the so-called classical physics (meant in a broad sense as those physics developments that took place before the 20th century). In this article we present five physics experiments that are useful to introduce some of the physics developments that took place up to the middle of the 20th century. In this way we aim to update and enlarge the educational hands-on resources that can be used by teachers, for either motivational or learning purposes.

Palabras clave: *experimentos de física, demostraciones de física, física recreativa, física moderna.*

Keywords: *physics experiments, hands-on physics, recreational physics, modern physics.*

Uno de los principales aspectos a los que el profesorado debe prestar atención es al de conseguir que la materia que imparte resulte atractiva para sus estudiantes. Si logra captar la atención de su alumnado y estimular su interés por conocer y comprender las cuestiones que se están tratando en el contexto docente, entonces el profesor se halla en inmejorables condiciones para encarar las siguientes etapas del proceso de enseñanza-aprendizaje, que pueden resumirse en tres fases: actividad exploratoria, desarrollo de conceptos y aplicaciones (Karplus, 1969).

La motivación es importante para aprender y resulta una parte esencial de una enseñanza efectiva (Lepper y Woolverton, 2002). Hay que conseguir que los temas tratados en el entorno educativo resulten interesantes, relevantes, útiles, divertidos..., para los estudiantes, puesto que éstos no tienen la experiencia y perspectiva del profesorado que imparte estos temas.

Son diversas las estrategias que el profesorado de física puede emplear para motivar a sus alumnos y, con ello, hacer más atractiva la materia, para que resulte más efectiva su actividad docente.

Hay un amplio consenso sobre la importancia que tienen las experiencias prácticas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las disciplinas científicas, tales como la física, que es la materia que nos ocupará en este trabajo. Las actividades prácticas llevadas a cabo en el contexto educativo admiten varias clasificaciones. Una propuesta simplista considera tan sólo los casos extremos (Vollmer y Möllmann, 2012):

- *Experimentos diseñados para adquirir conocimiento*, que se realizan empleando dispositivos especiales bajo condiciones controladas de trabajo.
- *Experimentos cuyo propósito es la motivación*, que se realizan con materiales fáciles de obtener en el ámbito educativo.

Por supuesto, entre ambos extremos hay matices en lo que se refiere a la tipología, las características y los objetivos (Caamaño, 1999; 2004). Sin embargo, para el propósito de este trabajo no es necesario entrar en los detalles finos de la clasificación de las actividades prácticas, puesto que el objetivo principal de las experiencias que se tratarán más adelante es el de estimular el interés de los alumnos por la física involucrándolos en tareas que les resulten gratificantes, sencillas de realizar y, también (¿por qué no?), divertidas, de forma análoga a las propuestas docentes de la física recreativa (García-Molina, 2011).

Actualmente hay una enorme disponibilidad de fuentes (libros y páginas web) que ponen a disposición de los docentes de física un gran surtido de experiencias de física, las cuales pueden usarse para los propósitos mencionados. Sin embargo, la mayoría de las actividades prácticas que contienen estas recopilaciones se centran en fenómenos, conceptos y leyes de la física clásica (entendida, en un sentido general, como aquella que se desarrolló antes del siglo xx).

Se presentan cinco actividades de física en las que intervienen fenómenos y conceptos que ponen de manifiesto algunos de los desarrollos que han tenido lugar en la física hasta mediados del siglo xix

En este artículo se presentan cinco actividades de física en las que intervienen fenómenos y conceptos que ponen de manifiesto algunos de los desarrollos que han tenido lugar en la física hasta mediados del siglo xix, aproximadamente. Esta selección de experiencias no pretende ser exhaustiva, sino únicamente cubrir un periodo histórico de la física y complementar las actividades de física clásica que se ofrecen habitualmente. De este modo, se amplía el repertorio de experiencias de física para desarrollar con el alumnado.

Las experiencias de física han de llevarse a cabo de forma convenientemente dosificada, a discreción del profesorado, quien debe elegir la extensión, la ocasión, el nivel, el lugar, etc., con que debe tratarse cada una de ellas. Conviene hacer notar que, para que sean efectivas, las experiencias de física no sólo han de participar activamente los alumnos en los experimentos (Costa y Dorrió, 2010), sino que el profesorado debe fomentar la discusión de la física subyacente, para que se profundice adecuadamente en los fenómenos estudiados.

En lo que sigue se presentan y describen las experiencias a un nivel suficiente para que el profesorado conozca sus características más relevantes y, así, pueda desarrollarlas con el mínimo de dificultades. Cuando sea necesario, en cada experiencia se proporcionarán las referencias bibliográficas que pueden consultarse para ampliar conocimientos en cada caso.

Las actividades seleccionadas se vienen desarrollando desde hace varios años en las asignaturas de física recreativa (grado en Física) y enseñanza práctica de la física (máster de Formación del Profesorado) que imparto en la

Universidad de Murcia. Por este motivo, algunas de las imágenes y datos que se emplean para ilustrar las experiencias proceden de los informes presentados por alumnos de estas asignaturas, a quienes deseo expresar mi agradecimiento.

1. Temperatura de la superficie solar

El estudio del cuerpo negro figura en el acta de nacimiento de la física moderna. Tanto el espectro de la radiación solar como el de una bombilla incandescente pueden considerarse en muy buena aproximación como si fueran el de un cuerpo negro, cada uno a su correspondiente temperatura. Es posible determinar la temperatura solar mediante una sencilla comparación entre la potencia que irradia por unidad de superficie el Sol (que se halla a una temperatura T) y una bombilla incandescente (de potencia P conocida). Para ello basta con acercar el dorso de la mano (que tiene mayor sensibilidad térmica) a la bombilla y anotar la distancia d a la cual se nota una sensación térmica similar a la producida por la radiación de un día soleado, tal como se ilustra en la imagen 1. Tras igualar la energía por unidad de tiempo y superficie que llega a la mano procedente de la bombilla y la que llegaría procedente del Sol se obtiene la temperatura solar en términos de las magnitudes medidas en la experiencia: $T = 504 (P/d)^{1/4}$; todas las magnitudes se expresan en unidades del sistema internacional. La deducción detallada de la expresión anterior aparece en García-Molina (2012). Dado que la distancia d aparece dentro de una raíz cuarta, pequeñas variaciones en ella no afectan notablemente al resultado que se obtenga.

A continuación se presentan los valores de la potencia y la distancia para dos bombillas diferentes, así como la temperatura solar obtenida en cada caso: ($P = 60 \text{ W}$, $d = 0,06 \text{ m}$; $T = 5.727 \text{ K}$) y ($P = 40 \text{ W}$; $d = 0,045 \text{ m}$; $T = 5.975 \text{ K}$). Como puede apreciarse, mediante esta simple experiencia se obtiene una temperatura solar que está en excelente acuerdo con el valor de 5.800 K que suele encontrarse en los libros de texto.

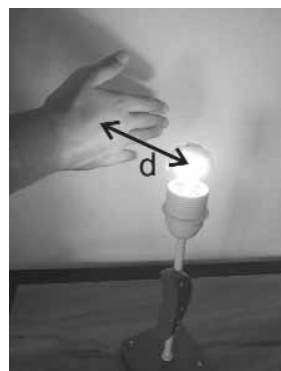


Imagen 1. Cuando la mano nota una sensación térmica similar a la que notaría expuesta al sol, se anota la distancia d hasta el centro de la bombilla, de potencia P

2. Desintegración radiactiva

A finales del siglo XIX se descubrió que la materia no era inmutable y que algunos elementos se transformaban en otros diferentes mediante el proceso de la desintegración radiactiva. Los estudios subsiguientes constituyeron la base para elucidar la naturaleza atómica de la materia.

La desintegración radiactiva sigue la ley de decaimiento exponencial $N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$, donde $N(t)$ es el número de núcleos que quedan después de transcurrido un tiempo t , cuando se parte de una cantidad inicial N_0 ; la constante de desintegración λ es una propiedad característica de cada sustancia. Es importante notar que la desintegración radiactiva de un núcleo no depende de su historia previa (puede transcurrir un tiempo aleatorio hasta que se desintegre), ni de su entorno (no importa si sus núcleos vecinos se han desintegrado o no).

Es bien sabido que la altura de la espuma que se genera al verter una cerveza en un vaso cilíndrico va disminuyendo a medida que transcurre el tiempo. La desaparición de una pompa u otra de la espuma no depende de su historia previa ni de su entorno, de manera análoga a como sucede en la desintegración radiactiva. Por estos motivos, se puede estudiar el decaimiento exponencial típico de la desintegración radiactiva observando la disminución de altura de la espuma de cerveza, desde la base de la espuma hasta la parte superior de la espuma (Leike, 2002). La imagen 2 presenta una secuencia de fotografías en las que se observa cómo evoluciona con el tiempo la altura de la espuma de cerveza que se ha vertido en un vaso de sección cilíndrica. Puede observarse claramente cómo disminuye la altura de la espuma a medida que transcurre el tiempo. Para realizar el tratamiento numérico subsiguiente, es importante que la sección del vaso sea cilíndrica.

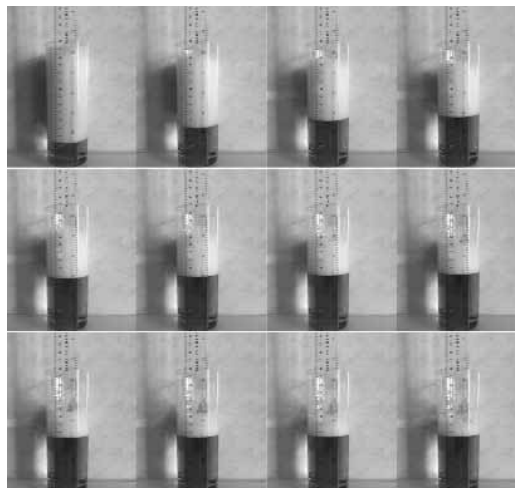


Imagen 2. Fotogramas que muestran (comenzando por la esquina superior izquierda) cómo disminuye con el tiempo la altura de la espuma de cerveza. Las medidas se han realizado a intervalos regulares con una regla colocada junto al vaso

En la parte izquierda de la imagen 3 (véase la página siguiente) puede apreciarse cómo la altura h de la espuma disminuye con el tiempo t con un comportamiento que se asemeja al del decaimiento exponencial. Para que no haya ninguna duda al respecto, en la parte derecha de la imagen 3 se han representado los mismos datos en escala semilogarítmica: $\ln(h)$ vs. t ; el comportamiento lineal que se observa en la representación semilogarítmica pone claramente de manifiesto el decaimiento exponencial de la espuma de la cerveza en función del tiempo, con una «constante de desintegración de la espuma» que vale 0,006/s en este caso.

Esta actividad puede ampliarse comprobando que el ritmo al que disminuye la espuma (y, por tanto, la «constante de desintegración de la espuma») depende del tipo de cerveza y de la temperatura, en clara analogía con el diferente comportamiento radiactivo de cada sustancia.

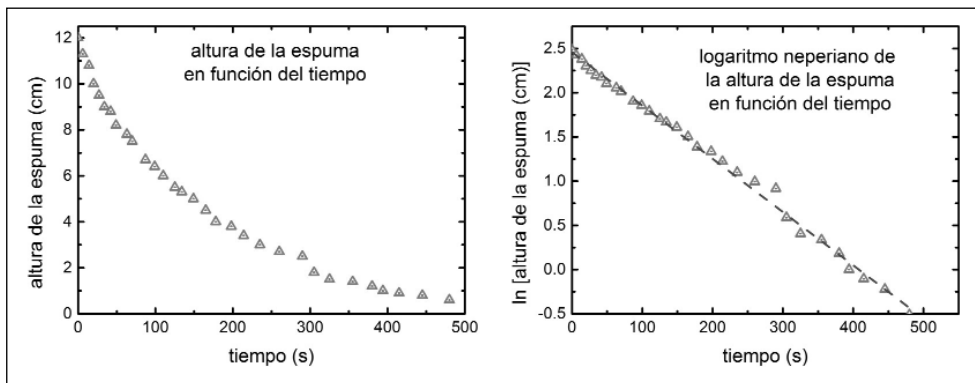


Imagen 3. Evolución temporal de la altura de la espuma de cerveza, representada en escala lineal (izquierda) y en escala semilogarítmica (derecha). La pendiente de esta última figura, que vale 0,006/s, sería el equivalente de la «constante de desintegración de la espuma de cerveza»

3. Estimación del tamaño molecular

Es un hecho bien conocido por los estudiantes que la materia está formada por átomos, que se organizan en moléculas. Éstas típicamente suelen tener dimensiones nanométricas, pero su determinación requiere de equipamiento sofisticado y técnicas complejas, que tan sólo están al alcance de centros de investigación especializados.

A continuación se describe un procedimiento sencillo para obtener una estimación del tamaño molecular que, aun careciendo de exactitud, permite hacerse una idea aproximada de las dimensiones características de las moléculas orgánicas, como es el caso del ácido oleico, componente mayoritario del aceite.

El procedimiento consiste en extender un volumen determinado V de aceite (medido con una milipipeta, por ejemplo) sobre una superficie de agua, de manera que se forme una capa monomolecular. Midiendo la superficie S de esta monocapa de aceite, es posible determinar su espesor H a partir de la relación $H = V/S$. Procediendo de este modo se obtiene el valor aproximado del tamaño de la molécula de ácido oleico. En primer lugar se llena con agua hasta el borde un recipiente de sección conocida. En un extremo del recipiente se deja caer sobre el agua un volumen determinado V de aceite (mediante una milipipeta, por ejemplo) y se procede a extenderlo con un hilo delgado (para que no absorba aceite) que va de un lado al otro del recipiente, hasta que ya no puede extenderse más (pues se rompe la continuidad de la mancha de aceite). La superficie S cubierta por el aceite extendido es el producto de la anchura A del recipiente multiplicada por la distancia D que se ha desplazado el hilo.

Los valores obtenidos en una de las experiencias realizadas por los alumnos son $V = 1 \text{ mm}^3$, $A = 16 \text{ cm}$ y $D = 42 \text{ cm}$, lo que proporciona un espesor $H = V / (A \cdot D) = 1.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}$, que es un

orden de magnitud mayor que el tamaño típico ($2 \cdot 10^{-9}$ m) de una molécula de ácido oleico. Tras la discusión subsiguiente con los alumnos se concluye que el resultado obtenido puede considerarse aceptable, teniendo en cuenta las condiciones en las que se ha realizado la experiencia (imprecisión en la determinación de V , principalmente); además, es perfectamente asumible que el espesor de la capa de aceite no sea monomolecular y que contenga otras moléculas presentes en el aceite, además del ácido oleico.

4. Expansión del universo

La expansión del universo implica un alejamiento relativo entre las galaxias, tal como se ven desde la Tierra o desde cualquier punto de observación. Aunque el universo tiene tres dimensiones espaciales, se puede establecer una analogía en dos dimensiones sobre la superficie de un globo que tiene lunares (u otro motivo similar) impresos o dibujados con rotulador.

Sobre la superficie del globo no se puede definir un lugar central, pero si tomamos uno de los lunares como lugar desde el cual se realizan las observaciones veremos que el resto de lunares se alejan a medida que se hincha el globo, y el ritmo al que se alejan es proporcional a la distancia desde el lugar de observación.

Esta analogía del universo bidimensional en expansión fue popularizada por Fred Hoyle (1962) y aparece ilustrada en la imagen 4, donde se observa cómo aumentan las separaciones entre los diferentes dibujos que hay sobre la superficie del globo a medida que éste se hincha. Una de las críticas que se le suelen hacer a esta analogía es que el tamaño de los dibujos (que representarían las galaxias) no ha de crecer a medida que se hincha el globo.

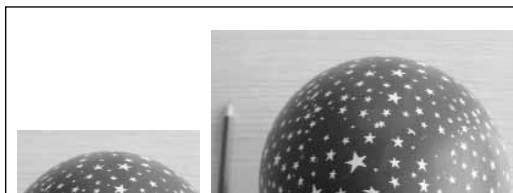


Imagen 4. La separación entre las estrellas impresas en la superficie del globo aumenta a medida que éste se hincha; el lápiz que aparece sobre la mesa puede emplearse como patrón para medir las distancias

5. Reacción nuclear en cadena

Las reacciones nucleares son conocidas entre los estudiantes como procesos en los que se transforman unos núcleos en otros y se libera una gran cantidad de energía. La reacción nuclear debe automantenerse para que la energía liberada pueda aprovecharse, bien con fines pacíficos (en las centrales nucleares) o, desgraciadamente, con fines bélicos (como en las bombas atómicas).

Para que se mantenga una reacción nuclear en cadena (es decir, sin influencia externa tras iniciarse) es necesario que se satisfagan ciertas condiciones relacionadas con la energía y productos liberados en cada reacción, pero muy particularmente depende de la cantidad y distribución de la sustancia que experimenta la reacción nuclear.

Puede examinarse la importancia de la concentración de material necesario para que la reacción en cadena se mantenga mediante el experimento dispositivo que se describe a continuación. Sobre una superficie perforada (con los agujeros equiespaciados) se coloca un número determinado de cerillas y se enciende una de ellas. Para un determinado tipo de cerillas, la propagación del fuego (como si de una reacción en cadena se tratara) dependerá de la distribución de las cerillas sobre la superficie perforada. Si éstas están muy alejadas unas de otras, no se producirá la reacción en cadena, la cual sólo ocurrirá a partir de una determinada concentración de cerillas.

La distribución de material no sólo tiene una influencia decisiva para que se autosostenga la reacción en cadena, sino que también afecta al ritmo con que se libera la energía. Una concentración baja, pero suficiente, del material que experimenta la reacción en cadena hará que la energía se libere a un ritmo lento, lo cual es adecuado para controlar el proceso; pero una concentración del material elevada dará lugar a una súbita liberación de energía, similar a una explosión.

En la imagen 5 se ilustra una reacción en cadena producida con unas pocas cerillas; también se ha realizado la experiencia con bastantes más cerillas, pero la gran llamarada que se produce no permite obtener buenas fotografías, además de la peligrosidad que comporta. Si no se dispone de una superficie perforada, también puede realizarse la experiencia colocando las cerillas sobre una lámina de plastilina.

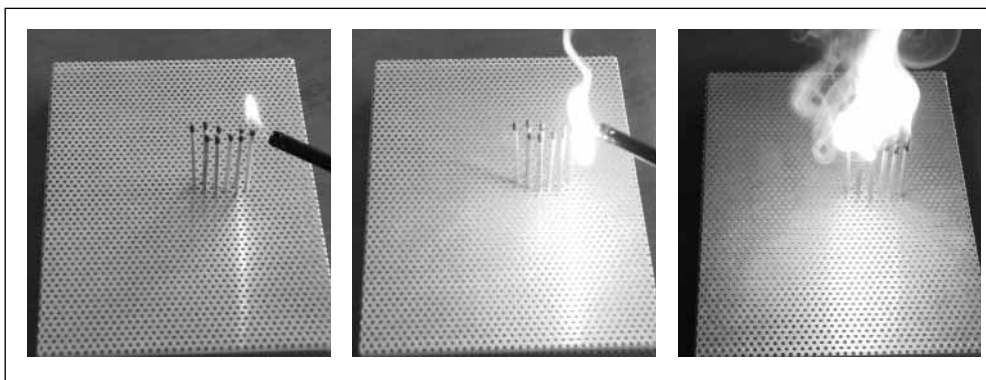


Imagen 5. Reacción en cadena realizada con cerillas colocadas sobre una superficie metálica perforada con agujeros equiespaciados. Hay que llevar a cabo esta experiencia tomando las debidas precauciones, dada la potencial peligrosidad del fuego y de los humos de la combustión

Se puede estudiar cómo varía la concentración necesaria para que produzca la reacción en cadena en función del tipo de cerillas, pues unas liberan más energía que otras al quemarse.

■ Conclusiones

Las experiencias que se han descrito en este trabajo sirven para introducir a los alumnos en los importantes y revolucionarios avances que se produjeron en la física desde finales del siglo XIX hasta mediados del siglo XX, tanto a nivel fenomenológico como conceptual. Además, en algunos casos se pueden realizar medidas que, a pesar de la simplicidad de los procedimientos empleados, conducen a resultados razonablemente admisibles.

Para muchos alumnos, la realización de este tipo de experiencias constituye una grata sorpresa, puesto que les permite reencontrarse, mediante materiales sencillos y asequibles, con algunos de los importantes progresos de la física de principios del siglo XX y les ha animado a interesarse por la posibilidad de abordar, mediante experiencias sencillas como las descritas en este artículo, los adelantos más recientes de la física.

Referencias bibliográficas

- CAAMAÑO, A. (1992): «Los trabajos prácticos en ciencias experimentales. Una reflexión sobre sus objetivos y una propuesta para su diversificación». *Aula de Innovación Educativa*, núm. 9, pp. 61-68.
- (2004): «Experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones: ¿una clasificación útil de los trabajos prácticos?». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 39, pp. 8-19.
- COSTA, M.F.M.; DORRÍO B.V. (2010): «Actividades manipulativas como herramienta didáctica en la educación científico-tecnológica». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, núm. 7, pp. 462-472.
- GARCIA-MOLINA, R. (2011): «Ciencia recreativa: un recurso didáctico para enseñar delei-

tando». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, núm. 8 (núm. extraordinario), pp. 370-392.

- (2012): «Calcula la temperatura solar con tu mano y una bombilla». *Simple+mente física*, núm. 157 [en línea]. <<http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/s+mf/157s+mf.pdf>>.
- HOYLE, F. (1962): *La naturaleza del Universo*. Buenos Aires. Compañía General Fabril.
- KARPLUS, R. (1969): *Introductory physics: A model approach*. Nueva York. Benjamin.
- LEIKE, A. (2002): «Demonstration of the exponential decay law using beer froth». *European Journal of Physics*, núm. 23, pp. 21-26.
- LEPPER, M.R.; WOOLVERTON, M. (2002): «The wisdom of practice: Lessons learned from the study of highly effective tutors», en ARONSON, J. (ed.): *Improving academic achievement: Impact of psychological factors on education*. San Diego (California). Academic Press, pp. 135-158.
- VOLLMER, M.; MÖLLMANN, K.P. (2012): «Low cost hands-on experiments for Physics Teaching». *Latin American Journal of Physics Education*, núm. 6 (suppl. 1), pp. 3-9.

Dirección de contacto

Rafael García-Molina
 Universidad de Murcia
rgm@um.es

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES en diciembre de 2012 y aceptado en mayo de 2013 para su publicación.