



Revista Eureka sobre Enseñanza y

Divulgación de las Ciencias

E-ISSN: 1697-011X

revista@apac-eureka.org

Asociación de Profesores Amigos de la

Ciencia: EUREKA

España

García-Molina, Rafael

Ciencia recreativa: un recurso didáctico para enseñar deleitando

Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 8, noviembre-, 2011, pp. 370-392

Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia: EUREKA

Cádiz, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92022427002>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Ciencia recreativa: un recurso didáctico para enseñar deleitando

Rafael García-Molina

Departamento de Física, Centro de Investigación en Óptica y Nanofísica. Universidad de Murcia. Murcia. España. rgm@um.es

En este artículo se abordan diferentes facetas de la ciencia recreativa, tanto en el contexto social como en el educativo. Tras considerar las posibilidades de la ciencia recreativa como herramienta docente, se llega a las siguientes conclusiones: (i) la ciencia recreativa es muy adecuada para capturar la atención y estimular el interés por la ciencia de los estudiantes (y también del público general); (ii) debidamente contextualizada puede desempeñar una función válida en el aula; (iii) ofrece grandes posibilidades para la realización de trabajos prácticos (con diferentes materiales –principalmente cotidianos y baratos– y en entornos muy variados), y (iv) hacer de la enseñanza-aprendizaje una experiencia divertida es positivo para estudiantes y profesores. Por todo ello, si se usa convenientemente, la ciencia recreativa se convierte en un magnífico recurso en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Palabras clave: Ciencia recreativa; Enseñanza-aprendizaje.

Recreational science: a didactic resource for delighting people while teaching

In this article we discuss different aspects of recreational science, in a social as well as in an educational context. After considering the possibilities of recreational science as a teaching tool, we come to the following conclusions: (i) recreational science is very suitable to capture the attention and to stimulate the interest for the science of students (as well as general public); (ii) properly set in context, it can be useful in the classroom; (iii) it offers great possibilities for carrying out practical works (with different –mainly everyday and cheap– materials and in various environments), and (iv) having fun while teaching-learning is positive for both students and teachers. Therefore, when properly used, recreational science turns out into an excellent resource for the teaching-learning process.

Keywords: Recreational Science; Teaching-learning process.

Introducción

La motivación es un factor importante en la praxis cotidiana del proceso de enseñanza-aprendizaje, tanto entre los profesores (para dar a conocer y enseñar) como entre los alumnos (para querer conocer y aprender). Por desgracia, actualmente hay poca motivación por estudiar los contenidos de las disciplinas científicas (entre muchos jóvenes) y cierta desilusión por enseñarlos (entre algunos docentes). En este trabajo comentaré las posibilidades que ofrece la ciencia recreativa no sólo para ayudar a contrarrestar este problema, sino también como recurso didáctico para discutir fenómenos, conceptos, etc. de materias científicas (tanto en entornos formales como informales). El éxito de las propuestas docentes desarrolladas con elementos de ciencia recreativa dependerá de los objetivos, del entorno educativo, de las actividades realizadas, etc.

Resulta paradójico que, encuesta tras encuesta (Echeverría Ezponda *et al.* 2002, Pérez Manzano *et al.* 2005, Arroyo Menéndez *et al.* 2007, Cámara Hurtado *et al.* 2009, Toharia 2011), la población valore positivamente la ciencia (sus logros y sus protagonistas), pero que la mayoría de jóvenes muestre muy poco interés por estudiar materias científicas, especialmente a medida que aumenta la edad de los estudiantes (Vázquez y Manassero 2008).

La sociedad está acostumbrada a que se organicen cuentacuentos para estimular el gusto por la lectura, sesiones musicales para promocionar la música, competiciones deportivas para animar a la práctica del deporte, etc. En consonancia con las actuaciones anteriores, la ciencia ha

encontrado en las denominadas «ferias (semanas, jornadas...) de la ciencia» un formato para hacerse visible (y promocionarse) ante la sociedad mediante la organización de eventos en los que se realizan experimentos o talleres y juegos científicos ante el público. Muchos de los lectores habrán podido constatar el éxito de este tipo de acontecimientos, los cuales despiertan una enorme expectación entre la población, que acude por millares a visitarlas, con numerosos grupos familiares encabezados por los más jóvenes (que arrastran tras de sí a la parentela: padres, abuelos, primos...).

Aunque la población es receptiva a este tipo de actividades participativas, en las que se muestra la cara más amable de disciplinas tales como la literatura, la música, el deporte o la ciencia, conviene recordarle que son necesarias grandes dosis de esfuerzo, disciplina, dedicación... para obtener logros destacados en dichas materias.

Incidentalmente, cabe decir que en los siglos XVIII y XIX ya existía el formato de las veladas literarias, musicales o científicas, donde la burguesía se reunía para disfrutar y estar al día de las últimas novedades en asuntos literarios, musicales o científicos. Las exhibiciones científicas también gozaron de enorme popularidad en demostraciones callejeras o en ferias populares (Bensaude-Vincent y Blondel 2008).

Las actividades que más espectadores atraen en las ferias de la ciencia son aquellas en las que se realizan experimentos sorprendentes y con materiales fáciles de obtener, lo cual facilita su reproducción por el público interesado. Estas actividades las realizan no sólo profesionales de la enseñanza, sino también alumnos (tutelados por sus profesores). En particular, este último planteamiento resulta altamente positivo, dada la implicación activa de los estudiantes, quienes han de aprender previamente lo que luego explican ante el público. Todo ello, adecuadamente combinado con contenidos formales, convierte este tipo de eventos en un excelente granero de vocaciones científicas. Mi participación en ferias de la ciencia (Murcia, Madrid, Sevilla, Lleida...)¹ me trae al recuerdo una de las frases que más se escucha tras los mostradores de los improvisados laboratorios: «quiere que se lo explique», dirigida por los alumnos (niños y adolescentes convertidos en científicos) hacia cualquier bicho viviente (joven o adulto) que esté a su alcance. Esto demuestra que la realización de actividades científicas prácticas y gratificantes tiene un alto poder motivador en la enseñanza, ya que quienes las ponen en práctica también han de conocer (aunque sea básicamente) los conceptos, teorías, técnicas, etc. subyacentes.

En los foros de encuentro entre profesores para intercambiar experiencias, ideas, propuestas, etc. encaminadas a mejorar la actividad docente, también destaca la realización de actividades prácticas donde se combinan los aspectos lúdicos con los formativos, tal como se puede constatar en *Science on Stage* (antes *Physics on Stage*), que se organiza a nivel europeo desde 2000, o en *Ciencia en Acción* (antes *Física en Acción*), que se organiza en España desde la misma fecha. La figura 1 muestra algunos ejemplos típicos de las actividades que se pueden desarrollar en las ferias de la ciencia.

Debo indicar que, dada mi formación como físico, en lo que sigue trataré más de física que de otras disciplinas. Pero en términos generales, la mayoría de aspectos que se tratarán son aplicables (con los debidos matices) a la ciencia recreativa en conjunto.

Además de las referencias bibliográficas que aparecen al final del artículo, los lectores interesados en recursos de ciencia recreativa pueden encontrar más información en (García Molina 2011).

¹ Menciono únicamente aquéllas en las que he colaborado; pido disculpas por no citar tantas otras que no he tenido la ocasión de conocer.



Figura 1. (Izq.) Alumnos de secundaria muestran y explican los termómetros que han construido con botellas, agua coloreada y cañitas de refresco, durante la *VI Feria Madrid por la Ciencia 2005*. (Centro) Profesores europeos participantes en el taller *Physics experiments at less than 1 euro*, impartido por el autor de este trabajo en *Science on Stage 2005*. (Der.) Carme Alemany Miralpeix prepara los materiales para obtener figuras anamórficas en *Science on Stage 2005*.

Ciencia recreativa

Las actividades científicas que se han mencionado tienen en común que son espectaculares, divertidas, curiosas, relacionadas con fenómenos cotidianos, ofrecen resultados inesperados, se realizan con materiales fáciles de conseguir, etc. Se han de combinar adecuadamente los aspectos lúdicos con los formales, de manera que sirvan tanto para fomentar el interés por la ciencia como su aprendizaje, todo ello en diferentes contextos. Estos son algunos de los aspectos más destacables de la ciencia recreativa, cuyas características y evolución histórica analizaremos brevemente en este apartado.

La Revista *Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (en adelante REurEDC) acogió con entusiasmo la idea de publicar materiales sobre ciencia recreativa, a la cual se acordó dedicar una sección, cuyo primer artículo apareció en abril de 2007 (Vol. 4, Núm. 2). En las normas para la presentación de trabajos en la sección de ciencia recreativa se establecía su propósito: «presentar experiencias científicas u otras actividades que resulten amenas (y, en ocasiones, sorprendentes) a la vez que formativas, y que puedan emplearse por los docentes para estimular el interés por la ciencia y suscitar preguntas que ayuden a comprender los fenómenos y conceptos científicos. [...] Se valorará positivamente la simplicidad de diseño, la sencillez de la construcción y presentación, así como el uso de materiales sencillos y asequibles.»

Estos *ingredientes* se repiten, de una u otra forma, en diferentes textos dedicados a la ciencia recreativa. Desde finales del siglo XVIII abundan los tratados de ciencia recreativa (Nollet 1770, Ozanam 1778, Anónimo 1792, Herpin 1824, Julia de Fontenelle 1826, Lasso de la Vega 1835), que ofrecen «problemas agradables», «problemas divertidos», «recreaciones físicas», «entretenimientos matemáticos», «química divertida» o «entretenimientos filosóficos»; sin embargo, su estudio detallado merecería un trabajo específico. Para no resultar prolífico, tan solo reproduciremos algunos fragmentos significativos de autores que abarcan un amplio intervalo temporal:

(Accum 1836): [...] esta ciencia se ha hecho un objeto de recreo; a cada momento se puede hacer una aplicación exacta y divertida de sus principios que tiene como embebido el espíritu.²

² Dedicatoria del traductor.

[...] no quitan a Accum el mérito de haber sabido elegir con tan buen discernimiento los experimentos más curiosos de la química; de modo que su obra deber interesar no solo a los químicos e inteligentes sino a toda clase de personas aficionadas al estudio y que quieran instruirse, divirtiéndose al mismo tiempo.³

Para realizar este plan he elegido solamente aquellos experimentos que pueden ejecutarse con facilidad y sin el menor peligro, en un gabinete; y cuya demostración no exige ni aparatos costosos ni instrumentos complicados. Y aunque estos experimentos valdrían ya mucho en el mero hecho de servir de distracción en los momentos de recreo, no me he querido limitar a esto solo y por consiguiente he añadido la explicación de cada uno de ellos, a fin de habilitar al operador en la contemplación de los fenómenos químicos, de modo que pueda sacar partido de sus observaciones, y que considere esta parte como un objeto particular de estudio, si su inclinación le lleva a ello. Muchos años de práctica como catedrático, y la gran costumbre de reflexionar sobre las dificultades que retardan, en general, los progresos de los que se dedican al estudio de la química, me han convencido que cuando estos ejecutan por sí mismos las operaciones que presentan los resultados más inesperados y las apariencias más placenteras, fijan mucho más su atención en estos fenómenos que quedan también más firmemente grabados en su memoria que cuando asisten a las cátedras públicas en que escuchan una serie de preceptos puramente teóricos, o solo ven demostraciones demasiado rápidas, no pudiendo ser de otro modo en un curso público.

(Vélez de Paredes 1870): Aun las personas acomodadas y opulentas encontrarán aquí un pasatiempo útil y divertido que amenizará sus largas horas de ocio, y los pondrá en disposición de figurar noblemente en los círculos científicos, artísticos e industriales, favoreciendo con su valimiento y caudales a esos genios, generalmente pobres, que sirven de instrumento a la Providencia para proporcionarnos los elementos que el estado y desarrollo de la humanidad va necesitando. [...] Sin embargo, no se nos ha ocultado que los hombres, sea cualquiera la edad y posición social de cada uno, sentimos comúnmente cierto despego, y alguna vez antipatía, a los estudios laboriosos, serios, y complicados, y he ahí por qué hemos procurado el destruir este obstáculo, redactando el presente *Manual de química divertida*, el cual, haciendo ameno y delicioso este estudio vencerá nuestra pereza y repugnancia por los encantos que encierran sus reducidas páginas, cuyo conjunto ha sido formado de lo más precioso que hemos encontrado en las mejoras obras químicas nacionales y extranjeras, pues todas nos han suministrado los principios elementales y las aplicaciones divertidas que publicamos con el doble objeto de aumentar los partidarios de esta ciencia, y de inspirar a nuestros lectores el de estudiar los primeros para entrar después con desembarazo en los más profundos arcanos de esta ciencia, y de repetir, ampliar y perfeccionar por sí mismos las segundas como el mejor medio de adquirir una instrucción sólida sin la menor molestia *canendo et ridendo...* como escribió uno de nuestros vates.⁴

(Tissandier 1884):⁵ [...] un curso completo de Física sin aparato alguno, donde se estudiarán diferentes fenómenos de la gravedad, del calor, de la óptica y de la electricidad, y esto sólo con unos vasos y botellas de mesa, una barra de lacre y otros objetos insignificantes que todo el mundo puede hallar a la mano. Una serie de experimentos de Química ejecutados con unas cuantas redomas y productos poco costosos completan esta sección del libro relativa a las ciencias físicas y naturales. [...] La ciencia, bien comprendida, no sólo aprovecha para la satisfacción de las necesidades de la vida, sino que además puede servir también de tema o asunto para procurarse diversos entretenimientos o pasatiempos sumamente agradable.

³ Prólogo del traductor.

⁴ Se refiere a la frase de Horacio «Canendo et ridendo corrigo mores», que significa «Cantando y riendo corrojo las costumbres».

⁵ Dada la confusa terminología imperante en la época, Tissandier aclara que omite «todo lo concerniente a la física recreativa, o sea lo que vulgarmente se conoce con el nombre de juegos de prestidigitación o de manos. Estos juegos no constituyen por sí experimento alguno científico, y consisten únicamente en unas cuantas supercherías más o menos ingeniosas, que tienen por objeto disimular el verdadero modo de maniobrar en esta clase de juegos».

(Tom Tit 1897): *Utile dulci*, decía Horacio. Instruir deleitando, decimos los modernos. Tal es la divisa que nos ha guiado al decidirnos a dar al público la versión castellana de las agradables experiencias de física y de mecánica que Arthur Good, bajo el seudónimo de Tom Tit, ha publicado en *L'Illustration*. [(Tom Tit 1892)] [...] Dos objetos diversos puede proponerse al lector benévolamente al estudiar esta obra, o mejor dicho, a dos categorías diferentes de lectores puede interesar este libro. A los que pretenden iniciarse en los estudios de las ciencias físicomecánicas, que después de esta preparación perderán su aridez e invitarán a penetrar sus verdades pródigas en prácticas y más trascendentales aplicaciones, y en segundo lugar a aquellos que buscan honesto recreo. [...] Cuantas combinaciones y experiencias se dan a conocer en este tomo pueden realizarse con utensilios ordinarios, fáciles de hallar a mano en todas las casas, y el autor, profesor eminentemente en una de las escuelas municipales de física de París, no olvidando, ni por un momento, la utilidad de sus populares y agradables lecciones, acompaña cada experimento de la explicación científica del mismo, indicando las leyes o fenómenos en que se funda.

(Estalella 1918): Frivolidades, experimentos vistosos, curiosidades, paradojas, entretenimientos, correrías por diversos campos científicos, bordeándolos mejor que atravesándolos y no deteniéndose en ninguno [...] Nadie busque en él [este libro] la exposición de ideas trascendentales o la resolución de problemas de actualidad palpitable. No se escribió con tal fin. [...] Frivolidades, nimiedades, insignificancias, entretenimientos de sobremesa acaso poco merecedores de atraer la atención de las personas mayores; pero dejad que los niños se aficionen a este libro, pues las frivolidades a veces han despertado latentes inteligencia y han revelado insospechadas aptitudes y vocaciones.

(Cuello y Vidal 1990): El juego y la experimentación gratuita y entusiasta continúan siendo la mejor manera de iniciarse [en las ciencias experimentales]. [...] Es de la cotidianidad de donde se debería de derivar siempre los motivos de estudio de las ciencias y a partir de donde habría que estimular la curiosidad por el conocimiento científico. [...] En este libro se pretende recoger un abanico de actividades y temas sugestivos, fáciles de hacer y al alcance de todos. Son experimentos que no requieren utillaje especial, solamente material casero: cucharas, vasos, tijeras y cinta métrica, por ejemplo.

Como puede apreciarse, hay varias ideas que se repiten de una u otra forma en los textos anteriores, entre las que podemos destacar la sencillez (suelen emplearse materiales accesibles), el propósito educativo combinado con la diversión (instruir deleitando) y la posibilidad de reproducir la actividad por parte de los lectores (el público).

Ciencia recreativa en el contexto educativo

Entre los diversos factores que influyen en la efectividad de la docencia destacan la motivación y el entusiasmo de los profesores (Bulger *et al.* 2002, Corona Cruz 2008), los cuales, sin duda, se contagian a los alumnos (Vaello Orts 2011). Otro elemento importante es la variabilidad en el uso de recursos didácticos durante el desarrollo de las clases (Bulger *et al.* 2002, Corona Cruz 2008). Las actividades exploratorias por parte de los alumnos ocupan el primer lugar en el ciclo de aprendizaje propuesto por Karplus y colaboradores para maximizar la efectividad del aprendizaje (Karplus 1969, Karplus *et al.* 1977, Hewitt 2004). Debidamente contextualizada en el proceso de enseñanza-aprendizaje, la ciencia recreativa se adapta perfectamente (junto con otro tipo de actividades) para reforzar los factores antes mencionados.

El adjetivo «recreativa» acompañando al sustantivo «ciencia» no sólo se refiere a aquellas experiencias que permiten pasar unos momentos agradables realizando actividades científicas, lo cual es ideal, por tanto, para captar la atención y estimular el interés del público por la ciencia, como se comentó en la sección anterior. Pero «recreativa» también se refiere al hecho de volver a crear («re-crear») experiencias científicas utilizando materiales que, generalmente,

suelen ser fácilmente asequibles (globos, botellas, latas, vasos, folios, pilas, palillos, mecheros, lápices, peines, gomas elásticas, cinta adhesiva, clips... y un largo etcétera).

Conseguir estimular a los estudiantes para que tengan una actitud positiva y receptiva ante una materia es un factor importante en el proceso educativo y a ello puede contribuir la realización de actividades de ciencia recreativa en diferentes formatos, como, por ejemplo, experimentos breves («un minuto de ciencia», aunque suelen durar un poco más) y/o en ambientes fuera del aula («el patio de la ciencia», o cualquier otro lugar ajeno al ámbito educativo estándar).

Dadas sus características, las actividades de ciencia recreativa son, en esencia, manipulativas, lo cual favorece el aprendizaje científico-tecnológico (Costa y Dorrío 2010). Además, la introducción de la ciencia recreativa en la práctica pedagógica cotidiana estimula el deseo de los alumnos por conocer (Averbuj 1986), ya que les hace partícipes del mundo científico. Se ha comprobado que la organización de exposiciones científicas, realizadas conjuntamente entre alumnos y profesores, también contribuye a mejorar las actitudes de los alumnos (Oliva *et al.* 2004) y de los profesores (Oliva *et al.* 2008) en el proceso enseñanza-aprendizaje.

Supondría una tarea interminable detallar las situaciones propicias en las que es posible implementar experiencias de ciencia recreativa en un contexto educativo. Además de los entornos típicamente académicos (aula o laboratorio), también pueden realizarse actividades de ciencia recreativa en ambientes relacionados con el ocio (patio, jornadas culturales...). La secuencia temporal y duración de las experiencias admite una amplia gama de posibilidades: sesiones breves (donde predomina el efecto sorpresa) o más extensas (en las que se puede tomar datos, efectuar hipótesis, realizar modificaciones...). El protagonismo del profesorado y/o del alumnado en este tipo de actividades puede modularse y repartirse convenientemente. Pero siempre se ha de tener presente que es el profesor quien ha administrar y adecuar al contexto docente (propósito, entorno...) las posibilidades anteriores, para obtener el máximo rendimiento de las actividades que deseé desarrollar.

Son varios los niveles educativos que han incorporado la ciencia recreativa a la práctica docente. En las líneas que siguen mencionaremos algunos ejemplos, sin pretensión de ser exhaustivos y a sabiendas de que se omitirán muchos casos interesantes.



Figura 2. Anuncio de un taller de ciencia recreativa (Martínez Moreno *et al.* 2004), donde se combina la ciencia, el misterio y el juego.

Las experiencias de ciencia recreativa, convenientemente seleccionadas y adaptadas (en materiales, en lenguaje, en objetivos...), son ideales para la iniciación científica en la etapa preescolar (Bustos Ramón y López Ronquillo 2004, Liberman 2010, Vega 2006, Gené *et al.* 2007).

La ciencia recreativa tiene cabida en la enseñanza secundaria en un amplio abanico de formatos. Así podemos encontrarnos desde el experimento espontáneo y libre, entendido como actividad realizada sin preparación previa y con los medios de que se disponga en cualquier lugar, improvisada en la clase (Ramos González 1990), hasta los talleres monográficos cuidadosamente preparados (Martínez Moreno *et al.* 2004). La figura 2 muestra el cartel anunciador de un taller de ciencia recreativa.

Incluso se ha diseñado un taller de ciencia recreativa para trabajar con alumnos que tienen necesidades educativas especiales (Cuevas Cisneros 2005).

Por supuesto, la realización de cualesquiera de estas actividades deben regirse por los criterios de interés, objetivos y oportunidad docentes.

En los planes de estudio de varias universidades aparecen asignaturas de ciencia recreativa. Cursos basados en esta materia también se ofertan en los centros de formación del profesorado. En la tabla 1 se muestra una selección de cursos cuya denominación hace referencia de forma explícita a la ciencia recreativa (Palomera Meroño 2011).

Tabla 1. Asignaturas y cursos de formación relacionados directamente con la ciencia recreativa.

Asignatura	Universidad	Titulación
Física recreativa	Granada	Libre configuración
Física recreativa	Murcia	Libre configuración
Taller de ciencia recreativa	Sevilla	Maestro (especialidad educación infantil)
Cursos de Formación del Profesorado		Institución
Ciencia recreativa en la ESO	Comunidad Autónoma de la Región de Murcia	
Ciencia recreativa para enseñanza secundaria	Universidad de Burgos	
Astronomía popular y física recreativa	Universidad de Alcalá de Henares	
Curso taller de investigación de operaciones, modelos matemáticos y física recreativa	Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima, Perú)	

Además de las propuestas docentes que apuestan directamente por el uso (convenientemente modulado) de la ciencia recreativa como recurso didáctico, es necesaria su contextualización, análisis y valoración para que desempeñen una función válida en el aula. Así se puede conocer en qué manera este tipo de actividades contribuye al aprendizaje de las ciencias por parte de los estudiantes. Seguidamente se comentan algunos de los trabajos publicados recientemente que abordan dicha temática.

Matos *et al.* (1999) han analizado la experiencia de diseñar, construir y realizar una exposición científica interactiva conjuntamente entre alumnado y profesorado. Los autores han evaluado el valor didáctico que tiene la ciencia recreativa como recurso para la enseñanza y la motivación del alumnado en el ámbito de las ciencias en contextos escolares y no formales, y también como centro de interés para el desarrollo profesional docente. La valoración global de la propuesta es positiva, dada su potencialidad educativa.

La evaluación de experiencias breves de ciencia recreativa realizadas en un museo (García Vigil y Meza Arcos 2008) concluye, entre otras cosas, que son un medio efectivo para estimular, reforzar y desarrollar el interés y el conocimiento por la ciencia, tanto entre el público general como entre docentes y alumnos.

El uso real que se realiza en la docencia de las experiencias de ciencia recreativa se analiza en (Lozano Lucía 2006, Solbes *et al.* 2008, 2009). En concreto, se analiza la percepción de alumnos y profesores hacia este tipo de actividades; ambos colectivos reconocen el escaso uso de este tipo de actividades y consideran que es un recurso docente interesante. También se concluye que los libros de texto contienen muy pocas propuestas de ciencia recreativa. Sin embargo, los resultados de un trabajo reciente (Palomera Meroño 2011) indican que las actividades de ciencia recreativa en los textos de enseñanza secundaria han experimentado un incremento continuado durante los últimos años.

Si bien de los trabajos anteriores se desprende una valoración positiva, a continuación se reseñan dos trabajos que aportan conclusiones negativas sobre el uso de las experiencias recreativas (sin entrar en matices).

El auge de las actividades de química recreativa en ferias de la ciencia y congresos didácticos ha sido analizado por Jiménez-Liso y de Manuel Torres (2009) en términos de innovación o regresión, según la proximidad a lo cotidiano y el grado de problematización presentes en dichas actividades. La conclusión de los autores sobre las actividades de química recreativa analizadas es negativa, puesto que dejan entrever en el aula una imagen de la química más propia de épocas pasadas, carentes de contenido innovador.

Kubli (2006) se sorprendió de que sus alumnos percibieran como una distracción las actividades experimentales realizadas en clase, incluso las que servían para animar una sesión predominantemente teórica; los estudiantes no consideraban las experiencias como una componente indispensable de la docencia o como el punto de partida de las deducciones que se pretendían comprender. Les servían para reponer fuerzas a la hora de enfrentarse a tareas más arduas, tales como la comprensión de deducciones complicadas. La misma percepción tenían los estudiantes sobre la práctica de intercalar referencias a la vida cotidiana en las clases. Esto denota que la percepción de los estudiantes puede diferir de la intención del profesor.

Sin embargo, la opinión anterior contrasta con las valoraciones positivas y entusiastas que expresan los alumnos que han asistido a las clases del profesor Walter Lewin (Lewin 2011), mundialmente famoso por la realización en directo de demostraciones de física recreativa durante sus clases en el MIT.

De la demostración a la investigación

Las actividades prácticas son un elemento fundamental en la enseñanza de materias científicas. Sin embargo, en pocas ocasiones los estudiantes (especialmente de secundaria) tienen ocasión de realizar una actividad científica experimental, bien por falta de infraestructura, bien por falta de tiempo, y en muchas ocasiones, por falta de interés (lamentablemente).

En el esquema propuesto por Caamaño (2003) para los trabajos prácticos en ciencias, las actividades de ciencia recreativa tienen cabida en tres de los diferentes tipos: las experiencias, los experimentos ilustrativos y las investigaciones.

Las experiencias permiten familiarizarse con los fenómenos. Suelen ser breves actividades prácticas intercaladas por el profesor durante la típica clase expositiva, para introducir o reforzar algún concepto, fenómeno, ley... Normalmente, este tipo de demostraciones se realiza con materiales muy simples y asequibles, a la vez que carece de toma de datos y de tratamiento de los mismos, ya que se pretende dar a conocer algún fenómeno concreto o ilustrar un aspecto de la teoría.

Siguiendo con la tipología usada por Caamaño (2003), los experimentos ilustrativos permiten identificar variables relevantes que intervienen en el fenómeno estudiado e inferir relaciones cualitativas o semicuantitativas entre las mismas, lo cual ayuda a interpretarlo.

Los dos tipos de actividades anteriores son similares (con matices, por supuesto) a lo que en otra época se denominaba demostraciones de aula o experiencias de cátedra, cuya puesta en práctica en un contexto actual se discute en (Meseguer Dueñas y Mas Estellés 1994, Vázquez Dorrío *et al.* 1994, Márquez 1996, Nieto Calleja *et al.* 2009). Además, se prestan para la dramatización y el suspense, que siempre son bien acogidos por los alumnos (y por todo tipo de público), por lo que todos los detalles de una demostración científica han de cuidarse al máximo (Taylor 1988).

Como ejemplo de la capacidad que tiene este tipo de demostraciones breves para captar la atención y transmitir un mensaje concreto, conviene recordar la sencilla (a la vez que espectacular y concluyente) demostración que realizó Richard Feynman (1988) para explicar el motivo por el cual explotó la lanzadera espacial Challenger cuando tan sólo habían transcurrido 73 segundos tras su despegue, el 28 de enero de 1986. Al mismo tiempo que la comisión encargada de estudiar los motivos de este fallo presentaba los informes con sus conclusiones delante de la prensa, Feynman (que también era miembro de dicha comisión) introdujo en un vaso de agua helada que tenía sobre la mesa una junta de caucho (como las empleadas para sellar los depósitos de combustible), la cual se cuarteó tras sacarla del agua. De esta forma se puso de manifiesto en presencia de todo el público que la causa científica por la cual falló el lanzamiento del Challenger fue que las propiedades elásticas de las juntas de caucho se alteraban notablemente a bajas temperaturas (como sucedió en la fría mañana de enero que se realizó el lanzamiento).

Puesto que las demostraciones de aula no son experiencias reales (suele prevalecer la interpretación del profesor debido a sus conocimientos previos), es muy importante prestar atención a las posibles explicaciones (compatibles con los fenómenos observados) que puedan dar los alumnos (Lucas y García-Rodeja Gayoso 1989).

Una demostración experimental puede dar lugar a una indagación. De esta forma los alumnos, convenientemente asesorados por sus profesores, pueden iniciarse en la investigación experimental. Algunas actividades típicas de ciencia creativa son especialmente adecuadas para que los alumnos tengan la oportunidad de trabajar como científicos, planificando la tarea, planteando y contrastando hipótesis, documentándose, midiendo magnitudes, elaborando conclusiones... En este punto resulta interesante destacar que varias demostraciones típicas de ciencia creativa se han transmitido perpetuando explicaciones confusas o, incluso, incorrectas (Grimvall 1987). Su discusión con los alumnos puede ser un buen punto de partida para iniciarse en la investigación.

Entre las explicaciones erróneas que se perpetúan destaca la que atribuye al oxígeno consumido en la combustión de una llama la justificación para el ascenso del nivel de agua en el interior de un vaso donde se coloca una vela encendida (o la introducción de una huevo cocido en el interior de una botella por donde no cabe). En realidad, la explicación de estas experiencias se debe a la disminución de presión en el interior de los recipientes cuyo aire interior se calentó inicialmente durante la combustión y luego se enfrió al apagarse la llama; la presión atmosférica (mayor que la interior del recipiente) es la que fuerza el nivel de agua a ascender por el interior del vaso (o empuja al huevo cocido hacia el interior de la botella por su cuello estrecho). Estos razonamientos, básicamente cualitativos, permiten interesantes discusiones que ayudan a descartar preconceptos firmemente arraigados en los alumnos (y también en algunos profesores).

Los chorros que salen por la pared lateral de un recipiente cilíndrico lleno de agua son los protagonistas de otra explicación incorrecta, que se puede dilucidar mediante un sencillo ejercicio numérico. Es frecuente atribuir (erróneamente) al chorro que sale por el orificio inferior un mayor alcance sobre la superficie donde se apoya el recipiente. Un simple cálculo de cinemática (García Molina 2003) demuestra que llega más lejos el chorro que sale a mitad de altura.

Descubrir dónde residen los errores en las explicaciones de otras demostraciones requiere de investigaciones más profundas (y enriquecedoras). Algunas necesitan pocos recursos, como la del agua que no se derrama de un vaso invertido cubierto con una pieza de papel, atribuida habitualmente (tan solo) a la fuerza ejercida por el papel sometido a la presión atmosférica. Sin embargo, el análisis riguroso de esta explicación suscita importantes dudas que se resuelven si

se tienen en cuenta el ligero descenso de la columna de agua en el interior del vaso (lo cual produce una depresión) y los efectos de la tensión superficial (Weltin 1961, Kazachkov *et al.* 2006).

Persisten bastantes explicaciones tradicionales de ciencia recreativa que han estimulado interesantes e ingeniosos proyectos de investigación. Seguidamente se reseñan algunos trabajos recientes, que pueden consultar los lectores interesados en detalles específicos.

La levitación de una pelota liviana sostenida por un chorro de aire, la aproximación entre dos hojas de papel (globos, latas de refresco...) entre las cuales pasa una corriente de aire, la sustentación de los aviones y otros fenómenos tradicionalmente explicados en términos de la ecuación de Bernoulli están siendo fuertemente criticados y tiende a predominar la explicación formalmente más correcta en términos del efecto Coanda, que involucra la viscosidad del fluido y la tercera ley de Newton (Babinsky 2003, Eastwell 2007, López-Arias *et al.* 2011).

La desviación de un delgado chorro de agua cuando se le aproxima un peine o un globo cargado electrostáticamente mediante fricción es una experiencia muy llamativa, cuya explicación se basa en la naturaleza polar de la molécula de agua. Pero una interpretación más completa debe dar cuenta de lo que sucedería con otros compuestos, tanto polares como no polares (Vemulapalli y Kukolich 1996).

La caída simultánea de un libro con una pequeña pieza de papel colocada encima se suele emplear para demostrar que si se elimina la fricción con el aire, tanto el libro como el papel caen con la aceleración de la gravedad terrestre. Sin embargo, lo que sucede realmente es que la pieza de papel es arrastrada por el libro en su caída, tal como se muestra al grabar el experimento con una cámara de alta velocidad (Vera y Rivera 2011). Conviene notar que hace casi un siglo ya se criticó la explicación incorrecta en un texto clásico de la ciencia recreativa (Estalella 1918).

En conclusión, las demostraciones de ciencia recreativa pueden tener desde una simple función informativa hasta ser el desencadenante de una reflexión crítica, la cual se puede reconducir hacia proyectos de investigación. Obviamente, éstas actividades han de adecuarse al nivel de los alumnos y de los profesores, así como a la consecución de unos objetivos. Estas investigaciones pueden cubrir temáticas de un amplio espectro, analizarse a diferentes niveles de profundidad y realizarse con materiales muy diversos (desde los más sencillos, hasta los más sofisticados), como acabamos de ver.

Ciencia recreativa y magia: una fructífera relación

La ciencia y la magia son dos creaciones de la humanidad que (aparentemente) no guardan ninguna relación. Mientras que la primera pretende desvelar los secretos que esconde la Naturaleza, la segunda intenta distorsionar el natural comportamiento de los fenómenos para conseguir efectos espectaculares con los que impresionar al público.

Sin embargo, el catálogo de una exposición reciente dedicada a la magia (AA.VV. 2011) contiene una sección expresamente dedicada a las recreaciones científicas (físicas, químicas y matemáticas), con referencias a numerosos textos en cuyos títulos se mencionan las recreaciones químicas, la física recreativa o los juegos aritméticos, tal como se aprecia en la figura 3.

Aunque éste no es el lugar para hacer un estudio pormenorizado y en profundidad del vínculo que ha habido (y hay) entre la magia y la ciencia recreativa, sí que vale la pena dar a conocer, aunque sea brevemente, algunos de los estudios relativos a esta temática. Los lectores interesados pueden consultar, entre otros, los trabajos de Lachapelle (2008, 2009) sobre el

estrecho maridaje entre ciencia y espectáculos decimonónicos de magia, o los de Teichmann *et al.* (2004, 2007) referidos a la conexión entre aprendizaje y entretenimiento.



Figura 3. Portadas de tres libros de uso corriente entre los aficionados a la magia, tal como aparecen en (AA.VV. 2011): *Recreaciones químicas...* (de J. C. Herpin, Barcelona, 1827) es la traducción al castellano de Herpin (1824); *Suertes de física recreativa antiguas y modernas* (Robert s.a.), y *Juegos de prendas y de salón* (Anónimo, Barcelona, s.a.). Nótese la mención explícita a la ciencia recreativa en los títulos de los tres libros.

La evolución cronológica de los vínculos entre la magia y la ciencia recreativa se resume esquemáticamente como sigue (Rafael Amieva, en AA.VV. 2011). Los números basados en juegos matemáticos se incorporan a los espectáculos de magia a partir del siglo xvi. En el siglo xviii los magos adoptan (y adaptan) los avances científicos. Durante el siglo xix es cuando resulta más fructífera la unión de la ciencia y la magia, ya que los magos presentan los últimos avances científicos a la par que desarrollan dispositivos basados en la ciencia para conseguir números con los que impresionar a su público. Era habitual que la entrada al espectáculo de magia contemplara también una visita a un lugar en donde se exhibían algunos de los últimos adelantos científicos de la época. Sin embargo, a finales del siglo xix se produce el distanciamiento entre la ciencia (excepto las matemáticas) y la magia, la cual pasa a centrarse únicamente en juegos que requieren de las habilidades del mago. Pero desde finales del siglo xx, han surgido magos cuyas ilusiones más espectaculares están basadas en aplicaciones científicas y tecnológicas.

Es importante señalar que los magos del siglo xix se consideraban a sí mismos como científicos en su aproximación a la magia y al ilusionismo, pues ponían verdadero énfasis en el contenido científico de sus espectáculos al presentar los desarrollos científicos y tecnológicos más recientes (Lachapelle 2008). Los «experimentos científicos», o demostraciones de efectos curiosos y agradables de la ciencia, que se presentaban en los espectáculos de magia supusieron un importante medio por el cual se divulgó la ciencia entre la sociedad, especialmente en la segunda mitad del siglo xix, cuando la física recreativa se convirtió en una parte importante de los espectáculos de magia (Lachapelle 2009).

Robert-Houdin (cuyo nombre original era Jean-Eugène Robert) realizaba sus actuaciones en un escenario simple y elegante, pensado para parecerse más al gabinete de un físico que a los espacios abarrotados y llenos que caracterizaban los espectáculos mágicos tradicionales. En julio de 1845 se inauguró en París el *Teatro Robert-Houdin* (uno de los primeros de su tipo),



Figura 4. Portada del libro *Magia y física recreativa (obra póstuma)*, de Robert-Houdin (1887).

donde los espectáculos tenían una componente científica con la cual pretendían deslumbrar y también instruir (poner al día, con los últimos descubrimientos) a su público. Robert-Houdin realizaba sus actuaciones en un escenario simple y elegante, pensado para parecerse más al gabinete de un físico que a los espacios abarrotados que caracterizaban los espectáculos mágicos tradicionales. La obra póstuma de Robert-Houdin lleva el elocuente título de *Magia y física recreativa* (figura 4) y en ella explicaba el fundamento científico de sus trucos. Pocos magos ilustran mejor que Jean-Eugène Robert-Houdin la íntima relación que hubo entre los desarrollos científico-tecnológicos y el mundo de la magia, concebida no sólo como entretenimiento, sino también con un cometido educativo. Otra sala de espectáculos mágicos que se hizo famosa en la década de 1860 fue el *Teatro de Henri Robin* de París, donde se representaban espectáculos de magia en los que aparecían visiones fantasmagóricas y también poseía uno de los gabinetes de física más completos de la ciudad (Lachapelle 2009).

A continuación se describen dos de los números de ilusionismo que causaron más sensación a finales del siglo XIX, cuya ejecución se basa en las leyes de la óptica. En la década de 1860 J. H. Pepper adaptó a las representaciones teatrales las ilusiones ópticas conocidas como fantasmagorías, para lo cual había que modificar adecuadamente las instalaciones teatrales y colocar una lámina de vidrio semitransparente entre el escenario y los espectadores, la cual deja pasar la luz procedente de la escena y refleja la que procede de un actor convenientemente disfrazado y camuflado, que se ilumina intensamente (Greenslade 2011). La figura 5 muestra una representación teatral donde aparece un fantasma que interviene activamente en la obra. Una variante de la aparición fantasmal consiste en observar una vela encendida mientras está sumergida dentro de un vaso con agua, tal como se muestra en la figura 6. Ésta es una demostración de física recreativa que todavía ocasiona una profunda impresión entre los estudiantes (y el público en general) que la presencia (normalmente, en ferias de la ciencia o ambientes similares).

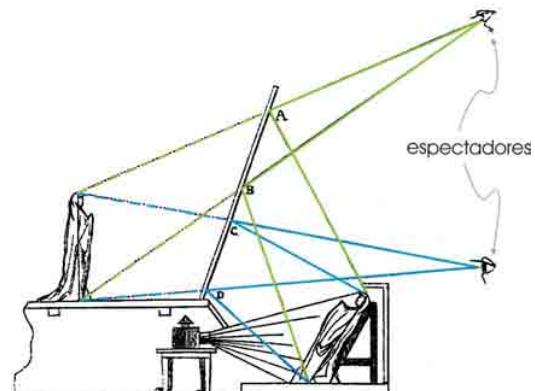
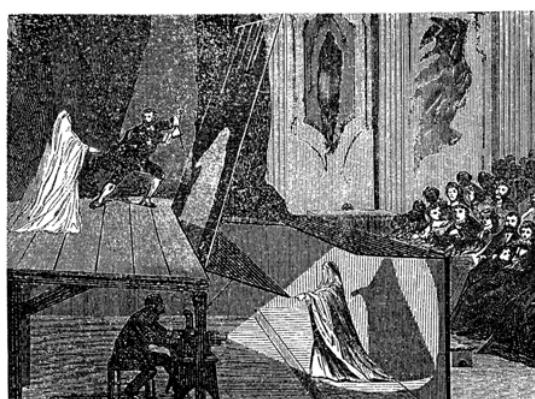


Figura 5. (Izq.) Espectro vivo e impalpable en una representación teatral. (Der.) Fundamento físico de la ilusión anterior (la imagen está retocada para resaltar las trayectorias de los rayos). Ambas ilustraciones proceden del libro *Magia y física recreativa*, de Robert-Houdin (1887).

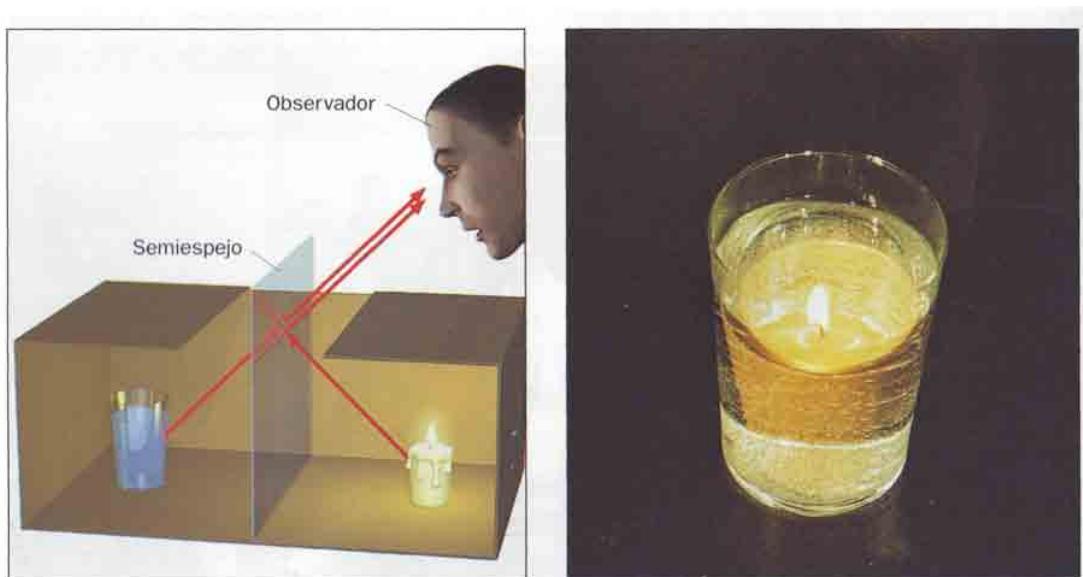


Figura 6. Ilusión óptica de una vela ardiendo dentro de un vaso con agua (Auvray Caro *et al.* 2004).

Otra de las ilusiones ópticas que causaron (y todavía causan) un gran impacto fue la cabeza parlante, en la cual una cabeza dialoga con el público, a pesar de que aparece estar decapitada, pues está colocada sobre una mesa que permite ver lo que hay detrás de ella. Esta ilusión tiene una explicación científica que, nuevamente, se basa en las leyes de la óptica: la pata posterior de la mesa que aparentemente observa el espectador, resulta ser la reflexión de la pata delantera en un espejo dispuesto a lo largo de la diagonal de la mesa, tal como se indica esquemáticamente en la figura 7. Robert-Houdin (1887) comenta, con cierto humor, cómo el público descubrió el truco cuando lanzaban bolitas de papel «sobre esta cabeza del otro mundo; a fin de averiguar si había perdido completamente su sensibilidad [...] Estas bolitas, dirigidas muchas veces por manos inhábiles, caían sobre ciertas partes de la mesa, que se creían vacías y sobre las cuales rebocaban, descubriendo la existencia de un espejo».

Las dos ilusiones ópticas que se han descrito pueden dar lugar a una interesante discusión con los alumnos en las cuales se pueden desarrollar la argumentación y el uso de pruebas para dar una explicación científica que justifique los fenómenos observados (AA.VV. 2010). Esta discusión, convenientemente guiada, permitirá abordar las propiedades de la luz y tratar conceptos de óptica (tanto geométrica como física).

Aunque nos hemos extendido al hablar de la estrecha relación entre la física y la magia (debido a la formación profesional de quien escribe), también la química y las matemáticas son protagonistas de los trucos que se desarrollan en los espectáculos de magia.

La asociación de la química con la magia resulta más aparente para el público, dada la evolución de la última a partir de la alquimia (Cobb y Goldwhite 1995), en la que se pretendía obtener el elixir de la eterna juventud o la piedra filosofal (para transmutar los metales en oro)... A reforzar esta conexión también han contribuido las series literarias protagonizadas por jóvenes magos (Harry Potter y compañía), dado el carácter encantador (en el doble sentido de la palabra) de sus protagonistas. A la mayoría de personas le resulta familiar (la reproducción de) los rituales de magia medievales, donde no pueden faltar palabras cabalísticas tales como *abracadabra* (que recuerda sonidos de la lengua árabe) o retahílas de voces latinas, como *hocus pocus*. La inclusión de estos sonidos en la práctica alquimista no hace más que constatar la importancia de la aportación árabe (propia o recopilada de las civilizaciones griega

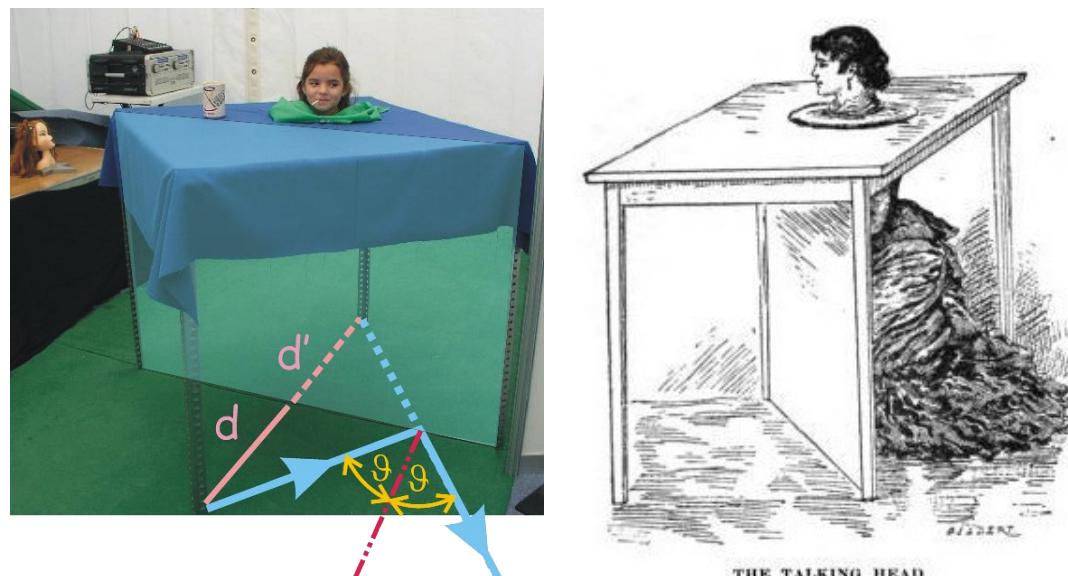


Figura 7. (Izq.) Cabeza (o busto) parlante, junto con el esquema de rayos que explica dicha ilusión óptica (García Molina 2009). (Der.) Disposición del espejo, la mesa y el sujeto para producir la ilusión óptica.

y romana) a la Europa medieval y, por tanto, a la ciencia occidental (Cobb y Fetterolf 2005). Los intentos de los alquimistas por obtener sus pociones mágicas o la trasformación de unos materiales en otros, pasaban por combinar diferentes productos de la manera adecuada para obtener la reacción química deseada.

Un espectáculo de magia tiene el éxito asegurado si, entre otras experiencias de química recreativa, sus números incluyen explosiones acompañadas de fuegos y humos de colores (íntimamente ligadas a la pirotecnia) o apariciones de mensajes secretos escritos sobre un papel donde no se leía nada antes de hacerlo visible con unos pases mágicos (cerca del producto revelador). Son numerosas las recetas de tintas simpáticas para escribir mensajes secretos, pero la que prácticamente todos hemos empleado cuando éramos niños es el jugo de limón, los trazos escritos con el cual se tornaban visibles al aplicarle el calor de una llama; de hecho, las recetas de tintas simpáticas forman parte de los textos de química recreativa desde hace mucho tiempo (Accum 1836 Exp. XXXIII–XLIII, Julia de Fontenelle 1826 Sec. X, Vélez de Paredes 1870 Cap. V). También muchos de quienes lean estas líneas recordarán de su niñez los intentos (afortunadamente frustrados para mí) de producir pólvora a partir de pastillas de clorato, carbón y azufre.

En la figura 8 se muestra la caja mágica, un truco que consiste en hacer aparecer un dibujo sobre una hoja en blanco tras introducirla unos minutos en una caja. El dibujo se ha trazado previamente sobre el papel empleando una solución de sulfato de cobre, que al secarse resulta incoloro y, por tanto, imperceptible; en el interior de la caja hay un plato que contiene amoniaco diluido. La reacción de los vapores amónicos con el sulfato de cobre produce un compuesto químico azul oscuro, que es el que da color a la imagen revelada (Cherrier 1974 p.50, Roesky y Möckel 1996 #40); pueden aparecer matices de otros colores si la tinta invisible contiene trazas de otros elementos químicos.

La obtención una llama sin que media una cerilla o mechero constituye un sorprendente efecto. Esta reacción química puede conseguirse dejando caer unas gotas de glicerina sobre una bandeja que contiene permanganato potásico finamente pulverizado, tal como se aprecia en la figura 9. La causa de la llamarada se debe a reacción exotérmica producida por la

oxidación de la glicerina por el permanganato potásico, que es lenta inicialmente pero se acelera a medida que el sistema se calienta y finalmente produce una espectacular llama (Cherrier 1974 p.72, Roesky y Möckel 1996 #17, Lister 2002 #29).

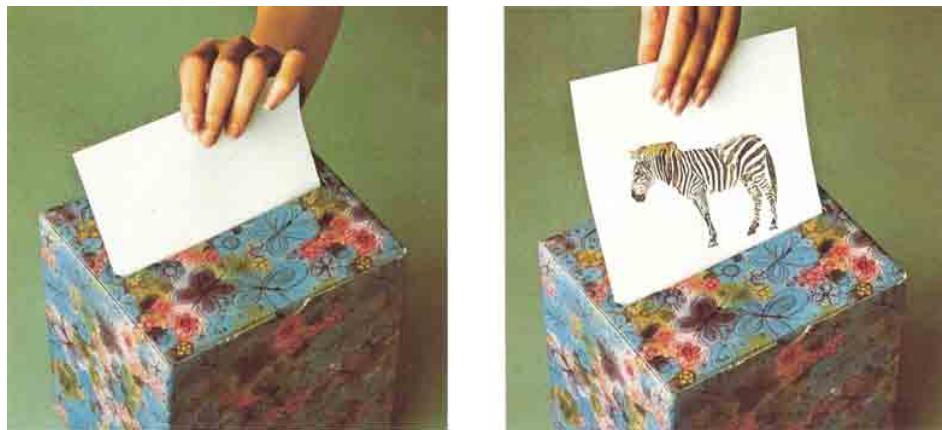


Figura 8. (Izq.) Papel con el dibujo invisible (trazado mediante la solución de sulfato de cobre), antes de introducirlo en la caja mágica. (Der.). La cebra dibujada previamente se ha revelado tras permanecer unos minutos el papel dentro de la caja que contiene amoníaco diluido (Cherrier 1974 p.50).



Figura 9. Secuencia en la que Lluís Nadal deja caer una gota de glicerina sobre un recipiente con permanganato potásico y se produce una viva llama, durante una de las sesiones de *El patí de la ciència*, celebrada en la Universidad de Alicante durante el verano de 2007.

Además de los textos anteriormente citados, la excelente recopilación realizada por Shakhshiri (1982, 1985, 1989, 1992, 2011) o el texto de Khee *et al.* (2008) también pueden proporcionar un amplio surtido de experiencias de química ideales para trucos mágicos.

La incorporación de las experiencias de química recreativa a los escenarios para realizar números de magia, requiere extremar las medidas de seguridad, dada la peligrosidad de los humos, altas temperaturas, llamaradas... que el público tanto aplaude.

Los juegos de magia numérica suelen consistir en cálculos ultrarrápidos, adivinar números o cartas elegidos por los espectadores (tras la realización de hábiles preguntas o un conjunto de operaciones matemáticas), hacer o deshacer nudos, cortar y unir cuerdas, además de otros muchos trucos basados en diferentes ramas matemáticas, tales como la combinatoria, la lógica o la topología, entre otras.

Los cuadrados mágicos se discuten en numerosos textos y ya aparecen en un clásico de la ciencia recreativa (Ozanam 1778 Cap. XII). Consisten en disponer números enteros sobre las casillas de un tablero cuadrado, de manera que al sumar los números que hay en cada fila, en cada columna y en cada diagonal principal resulte siempre el mismo valor, que se denomina constante mágica del cuadrado. En la figura 10 se han representado tres cuadrados mágicos famosos. Lo que más sorprende al público no suele ser el cuadrado mágico en sí, sino la habilidad de los magos para construirlos al instante, lo cual realizan mediante la aplicación de un sencillo algoritmo numérico.

La denominación *matemagia* suele emplearse para referirse a la magia que está basada en reglas matemáticas. Se dispone de una nutrida bibliografía donde se explican los fundamentos matemáticos de asombrosos y divertidos trucos de ilusionismo. Martin Gardner fue el más famoso divulgador de las matemáticas del siglo XX y escribió numerosos textos con gran repercusión entre los matemagos, entre los cuales podemos citar (Gardner 1956, 1983). Dos publicaciones recientes de sendos profesores y magos (Blasco 2007, Alegria 2008), explican los principios matemáticos para realizar numerosos trucos que pueden emplearse para captar el interés de los estudiantes por las matemáticas.

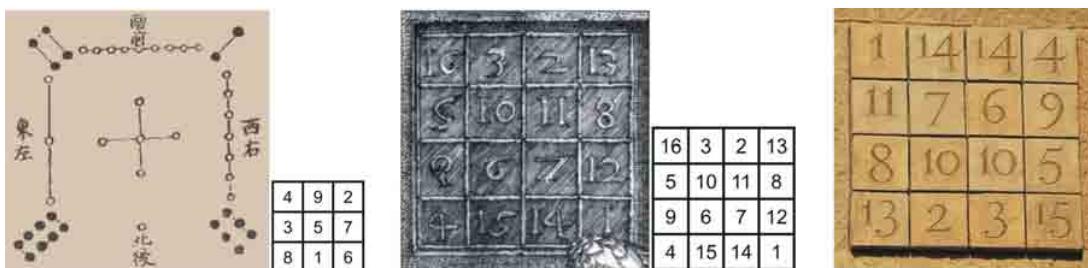


Figura 10. Tres cuadrados mágicos famosos. (Izq.) Reproducción de los símbolos que corresponden al cuadrado mágico más antiguo que se conoce, el cual, según la leyenda china del *Lo Shu*, apareció sobre el caparazón de una tortuga; la constante mágica es 15. (Centro) Cuadrado mágico que aparece en el grabado *Melancolía I*, realizado por Alberto Durero en 1514; la constante mágica es 34. (Der.) Cuadrado mágico en la fachada de *La Pasión* de la Basílica de la Sagrada Familia (Barcelona); la constante mágica es 33. Junto a los dos primeros cuadrados aparece los números correspondientes, para facilitar su identificación.

La conclusión de esta sección es que «el mayor gusto que se puede tener, después de haberse divertido con objetos que interesan la curiosidad, es el de satisfacerla» (J. F. 1833). Por ello, los trucos de magia o de charlatanes de feria son un recurso didáctico extremadamente motivador para los alumnos, quienes tras su asombro inicial ante un suceso claramente contrario a las leyes de la Naturaleza, inmediatamente intentan dar una explicación racional y, por tanto, científica, del mismo. Los trabajos recientes de Hoyuelos (2008), Gómez Crespo y Cañamero (2009) y Alegria (2009), entre otros autores, explican los fundamentos científicos que subyacen en varios trucos (aparentemente) mágicos, los cuales pueden resultar útiles para trabajar contenidos de física, química y matemáticas con los alumnos.

¿Qué hace un chico como yo escribiendo un artículo como este?

Para concluir este trabajo quiero dejar constancia de cómo he llegado a involucrarme en el uso de la ciencia recreativa como recurso didáctico.

Recuerdo perfectamente los entretenimientos que ejecutaba cuando era un niño durante las cenas navideñas, para que no se aburrieran mis primos pequeños: la estructura con palillos que saltaban por el aire cuando se prendía fuego por una punta, los tenedores equilibristas y el buzo cartesiano. Estos mismos entretenimientos los he redescubierto muchos años después en

los libros de ciencia recreativa (figura 11). Curiosamente, algunas de estas experiencias fueron las que utilicé para captar la atención de mis alumnos cuando comencé a dar clases en los primeros cursos universitarios.

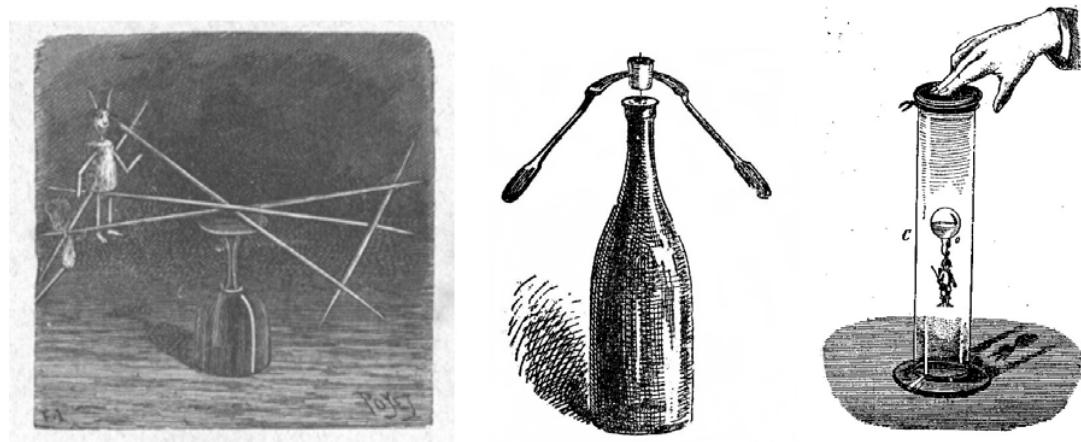


Figura 11. (Izq.) La estructura de palillos almacena energía elástica; cuando se quema el extremo de alguno de los palillos éstos saltan por el aire (adquieren energía cinética) al liberar la energía elástica (Tom Tit 1897). (Centro) Los tenedores se mantienen en equilibrio estable porque su centro de gravedad se halla en la vertical del punto de apoyo, que es un fino palillo o un alfiler. (Der.) El buzo cartesiano desciende cuando se aprieta el recipiente (en la actualidad se suele usar una botella de gaseosa) porque aumenta la presión en su interior y penetra agua dentro del buzo, con lo que su peso es mayor que el del volumen de agua que desplaza (Privat Deschanel 1884).

Pero el estímulo para recopilar experiencias de ciencia (física, en particular) recreativa, con las cuales preparar un taller práctico, tuvo su origen en las (amigables) disputas con mis amigos maestros para convencerles de que la ciencia no es aburrida (en contra del pensamiento mayoritario entre ellos). De esta forma comencé a impartir desde mediados de la década de 1990 el curso *Entreteniciencia* en las Escuelas de Verano organizadas en Elche por el Movimiento de Renovación Pedagógica.

La participación desde 2000 en los certámenes *Física en Acción* (actualmente *Ciencia en Acción*) y *Physics on Stage* (actualmente *Science on Stage*), me constató que hay numerosos profesores deseosos de compartir experiencias, proyectos, ilusiones... y también problemas (para buscar soluciones). Una inmensa proporción de las experiencias que se presentan en estos certámenes puede encuadrarse en el ámbito de la ciencia recreativa.

La invitación a participar en las *II Jornadas Eureka sobre aspectos lúdicos en la Enseñanza de las Ciencias*, celebradas el 2003 en Cádiz, fue el inicio de mi relación con la REurEDC.

Durante todo este tiempo, he tenido la oportunidad de participar en numerosos encuentros y talleres sobre enseñanza y divulgación de la ciencia. Esto constituye una maravillosa singladura donde las personas que se conocen y los conocimientos que se adquieren (y comparten) por el camino son, en ocasiones, más enriquecedores y producen mayores satisfacciones que la realización de un experimento científico, de la misma manera que en el viaje a Itaca es más fructífera la experiencia del viaje que la llegada al destino (Kavafis 1911).

Dos advertencias finales, que bien podrían haber sido iniciales

El uso de la ciencia recreativa como recurso didáctico no garantiza el proceso de enseñanza-aprendizaje, como tampoco lo hace el introducir elementos cinematográficos, históricos, sociales o tecnológicos, por citar otros recursos habitualmente empleados en la docencia. Tanto unos como otros pueden tener más o menos éxito en función de cómo se apliquen (extensión, periodicidad, dosificación, contexto, enseñanza formal o informal, etc.), pero de lo que no me cabe la menor duda es que los alumnos (y también los profesores) responden positivamente al estímulo que supone presenciar y, principalmente, participar en la preparación, interpretación y exhibición de fenómenos científicos sorprendentes y gratificantes, que en la mayoría de ocasiones pueden realizarse con materiales que no resultan especialmente difíciles de conseguir.

Por supuesto, son necesarios estudios (como en tantas materias relacionadas con el proceso de enseñanza-aprendizaje) que ayuden a valorar, implementar, corregir... la aplicación de la ciencia recreativa en el proceso educativo.

La participación en experiencias de ciencia recreativa bien realizadas supone cruzar un umbral. Por ello, la segunda advertencia es para alertar que no hay marcha atrás después de atravesar la puerta de entrada al mundo de la ciencia recreativa, pues quienes lo hacen quedan seducidos de tal manera que es muy probable que se conviertan en fervientes seguidores de este tipo de actividades, tanto para aprender más como para mostrarlas por doquier, bien sea con propósito didáctico o para satisfacción personal.

Finalmente, permítaseme expresar el fruto de una reflexión personal que me he hecho muchas veces y que consiste en comparar la ciencia recreativa con la ópera. Ambas involucran amplios conocimientos disciplinares, habilidades técnicas y pasión para comunicarse con el público. Ambas pueden fascinar mediante una acción singular (un aria o una experiencia espectacular), pero si se ejecuta mal o inoportunamente puede dar al traste con un buen propósito. El público interesado es capaz de disfrutar durante tres horas seguidas tanto de una buena ópera como de una sesión de experimentos bien ejecutados. Y tanto la ópera como la ciencia recreativa son adictivas.

Agradecimientos

En primer lugar, deseo dar las gracias a mi familia, que me ha apoyado, acompañado y se ha contagiado de mi entusiasmo por la divulgación de la ciencia. También merecen ser citados (colectivamente, porque individualmente son muchos) todos los compañeros con los que he compartido experiencias en mis periplos por ferias de la ciencia de diferentes lugares. No quiero dejar de mencionar a José María Oliva, editor de *REurEDC*, por su excelente acogida para incluir una sección de ciencia recreativa en la revista que dirige. Por último, pero no por ello con menor intensidad, vayan mis agradecimientos para los *Juglares de la Física*, el grupo de estudiantes de Física de la Universidad de Murcia que, con enorme entusiasmo y vocación, me prestan su apoyo en las tareas de divulgación de la física.

Referencias

- AA.VV. (2010) Monografía: Argumentar en ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* 63 (enero-marzo).
- AA.VV. (2011) *La Magia en la BNE* –catálogo de la exposición del mismo nombre–. Madrid. Biblioteca Nacional de España.

- Accum F. (1836) *Recreaciones químicas ó Experimentos curiosos é instructivos que todos pueden hacer con facilidad y sin peligro*. París. Librería de Lecointe. (Reproducción facsímil en la editorial París-Valencia, Valencia, 2000).
- Alegría P. (2008) *Magia por principios*. Sevilla. Publidisa.
- Alegría P. (2009) Sucesiones de recurrencia en la matemática recreativa. *Revista Eureka sobre enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 6 (3), 483-490.
- Anónimo (1792) *Dictionnaire Encyclopédique des Amusemens des Sciences Mathématiques et Physiques*. Paris. Chez Panckoucke.
- Arroyo Menéndez M., Cámera Hurtado M., López Cerezo J. A., Luján López J. L., Moreno Castro C., Pérez Manzano A., Polino C., Radl Philipp R., Torres Albero C., Zamora Bonilla J. (2007) *Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología en España 2006*. Madrid. FECYT.
- Auvray Caro A. F., Barrio Gómez de Agüero J., Espada López P., Vila Gómez M.ª J. (2004) La vela que arde bajo el agua, p.94 en *V Feria Madrid por la Ciencia*. Madrid. Comunidad de Madrid – Ediciones SM.
- Averbuj E. (1986) Ciencia recreativa: volver a los clásicos. *Cuadernos de Pedagogía* 143, 94-95.
- Babinsky H. (2003) How do wings work? *Physics Education* 38 (6), 497-503.
- Bensaude-Vincent B., Blondel C. [eds.] (2008) *Science and Spectacle in the European Enlightenment*. Aldershot. Ashgate.
- Blasco F. (2007) *Matemagia. Los mejores trucos para entender los números*. Madrid. Ediciones Temas de Hoy.
- Bulger S. M., Mohr D. J., Walls R. T. (2002) Stack the deck in favor of your students by using the four aces of effective teaching. *Journal of Effective Teaching* 5 (2) Online <http://uncw.edu/cte/et/ARTICLES/Bulger/index.htm>
- Bustos Ramón A. L., López Ronquillo J. J. (2004) Ciencia Recreativa en Preescolar: Una aproximación desde la educación ambiental. *XIII Congreso Nacional de Divulgación de la Ciencia y la Técnica. Sociedad Mexicana para la Divulgación de la Ciencia y la Técnica* (Villahermosa, Tabasco, México) http://www.somedicyt.org.mx/congreso_2004/ponencias/div_ambiental/Bustos_Ramon2_ext.pdf
- Caamaño A. (2003) Los trabajos prácticos en ciencias, pp. 95-118 en Jiménez Aleixandre M.ª P. [coord.], Caamaño A., Oñorbe A., Pedrinaci E., de Pro A. *Enseñar ciencias*. Barcelona. Graó.
- Cámera Hurtado M., Díaz Martínez J. A., López Cerezo J. A., Luján J. L., Martín Sempere M. J., Moreno Castro C., Muñoz E., Muñoz van den Eynde A., Rey Rocha J., Todt O., Torres Albero C. (2009) *Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología en España 2008*. Madrid. FECYT.
- Cherrier F. (1974) *Experimentos de química recreativa*. Valencia. Mas-Ivars Editores.
- Cobb C., Goldwhite H. (1995) *Creations of fire: Chemistry's lively history from alchemy to the atomic age*. Cambridge, MA. Perseus Publishing.
- Cobb C., Fetterolf M. L. (2005) Harry, Hogwarts, and folk pharmacopeias – Mysteries in the past and magic in the future, Cap. 5 en *The joy of Chemistry: The amazing science of familiar things*. Nueva York. Prometheus Books.

- Corona Cruz A. (2008) ¿Qué hace al buen maestro?: La visión del estudiante de ciencias físico matemáticas. *Latin-American Journal of Physics Education* 2 (2) 148-151.
- Costa M. F. M., Dorrión B. V. (2010) Actividades manipulativas como herramienta didáctica en la educación científico-tecnológica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 7 (2), 462-472.
- Cuello J., Vidal A. M.^a (1990) *Obrador d'experiments. Ciència per a l'esplai*. Barcelona. Graó.
- Cuevas Cisneros J. A. (2005) *Física: Un acercamiento a los alumnos con necesidades educativas especiales* ^ Taller de ciencias. *Ciencia recreativa. Experimentos caseros. ¡Con la ciencia sí se juega!* Gobierno del Estado de Baja California Sur.
- Echeverría Ezponda J., Luján López J. L., Muñoz Ruiz E., Plaza García M., Espinosa Bayal M.^a Á., Ochaíta Alderete E., Pérez Sedeño E., Blanco Merlo J. R. (2002) *Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología en España*. Madrid. FECYT.
- Eastwell P. H. (2007) Bernoulli? Perhaps, but what about viscosity? *The Science Education Review* 6, 1-13. http://www.scientetime.com.au/ser/open_access/eastwell-bernoulli.pdf
- Estalella J. (1918) *Ciencia recreativa. Enigmas y problemas, observaciones y experimentos, trabajos de habilidad y paciencia*. Barcelona. Gustavo Gili. (En 2008 se editó una copia en facsímil, acompañada de comentarios actuales: *Ciencia recreativa. Facsímil y comentarios*. Murcia. Fundación Séneca).
- Feynman R. P. (1988) An outsider's inside view of the Challenger inquiry. *Physics Today* 41 (2), 26-37.
- García Molina R. (2003) ¿Qué chorro llega más lejos? *Simple+mente física*: núm. 20. <http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/s+mf/20s+mf.pdf>
- García Molina R. (2009) Cabeza parlante. *Simple+mente física*: núm. 128. <http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/s+mf/128s+mf.pdf>
- García Molina R. (2011) Bibliografía de ciencia recreativa. <http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/ff/Bibliografia-CienciaRecreativa.pdf>
- García Vigil M.^a H., Meza Arcos L. (2008) Las demostraciones breves de ciencia. Una alternativa de divulgación en el Museo Universum: sus experiencias y su evaluación. pp.95-103 en Lozano M., Sánchez-Mora C. [eds.], *Evaluando la comunicación de la ciencia: Una perspectiva latinoamericana*. México. CYTED, AECI, DGDC-UNAM. <http://www.vinv.ucr.ac.cr/docs/divulgacion-ciencia/libros-y-tesis/evaluacion-comunicacion.pdf>
- Gardner M. (1956) *Mathematics, magic and mystery*. Nueva York. Dover.
- Gardner M. (1983) *Festival mágico-matemático*. Madrid. Alianza.
- Gené A., Cortada T., Miranda M., Molló P., Peleato T., Sorribes M. (2007) *Pensar, que bé! Com acompañar els infants a descobrir el món*. Lleida. Pagès Editors.
- Gómez Crespo M. A., Cañamero A. (2009) La ciencia de la magia. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* 60, 24-32.
- Greenslade T. B. Jr. (2011) Pepper's Ghost, *The Physics Teacher* 49, 338-339.
- Grimvall G. (1987) Questionable physics tricks for children. *The Physics Teacher* 25, 378-379.
- Herpin J.-C. (1824) *Récréations Chimiques ou recueil d'expériences curieuses et instructives*. Paris. Audot, Libraire-Éditeur.
- Hewitt P. (2004) The three stages of learning. *Physics World* (September) 16-17.

- Hoyuelos M. (2008) La física de la magia. <http://fisica.mdp.edu.ar/mlhoyuelos/Fisicamagia.htm>
- Kavafis K. (1911) Itaca.
- Khee S. W. et al. (2008) *CheMagic: 50 Chemistry classics and magical tricks*. Singapur. World Scientific.
- Kubli F. (2006) Teachers should not only inform but also entertain. *Science and Education*, Online 7 págs. DOI 10.1007/s11191-006-9012-3. http://www.springerlink.com/content/c7234_23914081w22/
- Jiménez-Liso M. R., de Manuel Torres E. (2009) El regreso de la Química cotidiana: ¿regresión o innovación? *Enseñanza de las Ciencias* 27 (2), 257-272.
- J. F. (1833) *La mágica blanca descubierta, ó bien sea Arte adivinatoria con varias demostraciones de física y matemáticas, corregido y considerablemente aumentado por el presbítero Don Joaquín Eleuterio García y Castañer*. Valencia. Imprenta de Cabrerizo. (Reproducción facsímil en la editorial Librerías París-Valencia, Valencia, 1989).
- Julia de Fontenelle J. S. E. (1826) *Manuel de physique amusante, contenant une suite d'expériences curieuses, instructives et d'une exécution facile, ainsi que diverses applications aux arts et à l'industrie*. París. Librairie Encyclopédique de Roret.
- Karplus R. (1969) *Introductory Physics: A Model Approach*. Nueva York. Benjamin.
- Karplus R., Lawson A. E., Wollman W., Appel M., Bernoff R., Howe A., Rusch J. J., Sullivan F. (1977) *Science Teaching and the Development of Reasoning*. Berkeley, CA. Regents of the University of California.
- Kazachkov A., Kryuchkov D., Willis C., Moore J. C. (2006) An atmospheric pressure ping-pong “ballometer”. *The Physics Teacher* 44, 492-495.
- Lachapelle S. (2008) From the stage to the laboratory: magicians, psychologists, and the science of illusion. *Journal of the History of the Behavioral Sciences* 44(4), 319-334.
- Lachapelle S. (2009) Science on stage: amusing physics and scientific wonder at the nineteenth-century french theatre, *History of Science* xlvii, 297-315.
- Lasso de la Vega J. (1835) *Las ciencias enseñadas por medio de juegos ó teorías científicas*. Cádiz. Imprenta de Feros.
- Lewin W. (2011) *For the love of physics. From the end of the rainbow to the edge of time. A journey through the wonders of physics*. Nueva York. Free Press.
- Liberman D. (2010) Animarse con las ciencias en la educación inicial. *3er Encuentro Internacional de Educación Infantil*. Buenos Aires. Argentina. <http://www.omep.org.ar/document/animarse-con-la-ciencia-en-educacion-inicial-ciuda/>
- Lister T. [recop.] (2002) *Experimentos de química clásica*. The Royal Society of Chemistry. Madrid. Síntesis.
- López-Arias T., Gratton L. M., Zendri G., Oss S. (2011) Forces acting on a ball in an air jet. *Physics Education* 46, 146-151.
- Lozano Lucía O., (2006) *Análisis del uso de la ciencia recreativa en la enseñanza de la Física y Química y la Tecnología y sus consecuencias en el alumnado*. Trabajo Fin de Máster. Universitat de València.

- Lucas A. M., García-Rodeja Gayoso I. (1989) Contra las interpretaciones simplistas de los resultados de los experimentos realizados en el aula. *Enseñanza de las Ciencias* 8 (1), 11-16.
- Márquez R. (1996) Las experiencias de cátedra como apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física. *Revista Española de Física* 10 (1), 36-40.
- Martínez Moreno H., Martínez Navarro F., Casillas Santana M. C., Delgado Bermejo M., Guerra Quevedo D., Botín Hernández P., López Pérez P., Morera Marante P., Rivero Mendoza D., Valencia Suárez O. (2004) La ciencia recreativa. Con la ciencia sí se juega. <http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/Usrn/lentiscal/ficheros/pdf/Ciencia%20recreativa12p.pdf>
- Matos Delgado J. M., Martínez M., Bueno Garesse E., Díez Rodríguez M. C., Domínguez Ruiz J., Oliva Martínez J. M., Osuna García J., Vázquez Pérez A. (1999) *Ciencia recreativa y aprendizaje escolar*. Proyecto de Investigación Educativa. Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía.
- Meseguer Dueñas J. M., Mas Estellés J. (1994) Experiencias de cátedra en las clases de física del primer curso de las Escuelas Técnicas. *Enseñanza de las Ciencias* 12 (3), 381-391.
- Nieto Calleja E., Hernández Millán G., Carrillo Chávez M., López Villa N. (2009) Para asombrarse y aprender. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp.1642-1646. <http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-1642-1646.pdf>
- Nollet A. (1770) *L'art des expériences, ou avis aux amateurs de la physique*. Paris. Chez P. E. G. Durand.
- Oliva J. M., Matos J., Bueno E., Bonat M., Domínguez J., Vázquez A., Acevedo J. A. (2004) Las exposiciones científicas escolares y su contribución en el ámbito afectivo de los alumnos participantes. *Enseñanza de las Ciencias* 22 (3), 425-440.
- Oliva J. M., Matos J., Acevedo J. A. (2008) Contribución de las exposiciones científicas escolares al desarrollo profesional docente de los profesores participantes. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 7 (1), 178-198.
- Ozanam M. (1778) *Récréations mathématiques et physiques*. Paris. Chez Cl. Ant. Jombert.
- Palomera Meroño D. (2011) *Experiencias de física recreativa en los libros de texto de 3º y 4º de la ESO*. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Murcia.
- Pérez Manzano A., de Pro Bueno A., Ato M. (2005) *Evaluación nacional de actitudes y valores hacia la ciencia en entornos educativos*. Madrid. FECYT.
- Privat Deschanel A. (1884) *Elementary Treatise on Natural Philosophy. Part I*. Nueva York. D. Appleton and Company.
- Ramos González M. (1990) Física y química recreativa: didáctica de la física y química en la EGB y 2º de BUP. pp.319-322 en *X Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Cuenca. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Robert G. (s.a.) *Suertes de Física recreativa, de los más célebres profesores antiguos y modernos...* (Reproducción facsímil en la editorial París-Valencia, Valencia, 2004).
- Robert-Houdin (1887) *Magia y física recreativa (obra póstuma)*. Valencia. Pascual Aguilar Editor. (Reproducción facsímil en la editorial Alta Fulla, Barcelona, 1998).

- Roesky H. W., Möckel K. (1996) *Chemical curiosities: Spectacular experiments and inspired quotes.* Weinheim. VCH.
- Shakhashiri B. Z. (1982, 1985, 1989, 1992, 2011) *Chemical demonstrations: A handbook for teachers of Chemistry*, 5 vols. Madison, WI. University of Wisconsin Press.
- Solbes J., Lozano O., García Molina R. (2008) Juegos, juguetes y pequeñas experiencias tecnocientíficos en la enseñanza aprendizaje de la Física y Química y la Tecnología. *Investigación en la Escuela* 65, 71-87.
- Solbes J., Lozano O., García Molina R. (2009) Análisis del uso de la ciencia recreativa en la enseñanza de materias científicas y técnicas en educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp.1754-1758. <http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-1754-1758.pdf>
- Teichmann J., Stinner A., Riess F. [eds.] (2004) From the itinerant lecturers of the 18th century to popularizing physics in the 21st century – Exploring the relationship between learning and entertainment. *Proceedings of a conference held in Pognana sul Lario* (Italy), June 1-6, 2003. Munich, Winnipeg, Oldenburg, 2004. <http://www.uni-oldenburg.de/histodid/projekte/pognana/publication/Pognana.pdf>
- Teichmann J., Stinner A., Riess F. (2007) Learning and entertainment: from the itinerant lecturers of the 18th century to popularizing physics in the 21st century. *Science and Education* 16 (6), 511-646 (volumen especial).
- Tissandier G. (1884) *Recreaciones científicas ó la Física y la Química sin aparatos ni laboratorio y solo por los juegos de la infancia.* Madrid. Carlos Bailly-Bailliere. (Reproducción facsímil en la editorial Alta Fulla, Barcelona, 2003).
- Taylor C. (1988) *The art and science of lecture demonstrations.* Bristol. Adam Hilger.
- Toharia J. J. (2011) ¿En quién confían los españoles? Diario *El País* 07.08.11.
- Tom Tit (1892) *La Science Amusante* (Deuxième Série), p.187. París. Librairie Larousse.
- Tom Tit (1897) *Ciencia recreativa.* Madrid. Librería de Victoriano Suárez.
- Vaello Orts J. (2011) *Cómo dar clase a los que no quieren.* Barcelona. Graó.
- Vázquez Dorrión J. V., García Parada E., González Fernández P. (1994) Introducción de demostraciones prácticas para la enseñanza de la Física en las aulas universitarias. *Enseñanza de las Ciencias* 12 (1), 63-65.
- Vázquez A., Manassero M. A. (2008) El declive de las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes: un indicador inquietante para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 5 (3), 274-292.
- Vega S. (2006) *Ciencia 0-3. Laboratorios de ciencia en la escuela infantil.* Graó. Barcelona.
- Vélez de Paredes E. (1870) *Manual de química divertida, ó sea recreaciones químicas.* París. Librería de Rosa y Bouret.
- Vemulapalli G. K., Kukolich S. G. (1996) Why does a stream of water deflect in an electric field? *Journal of Chemical Education* 73 (9), 887-888.
- Vera F., Rivera R. (2011) A piece of paper falling faster than free fall. *European Journal of Physics* 32, 1245-1249.
- Weltin H. (1961) A paradox. *American Journal of Physics* 29, 711-712.