

Trabajos experimentales de química y de física con un estropajo de acero

María Luisa Prolongo Sarria

Resumen

En este artículo se describen un conjunto de actividades educativas experimentales que se han desarrollado con alumnos de Educación Secundaria, con los objetivos fundamentales de motivarles y de profundizar en diversos aspectos físicos y químicos. El hilo conductor de las actividades es el uso, como material de partida, de estropajo de acero (también conocido como lana de acero), fácilmente accesible en supermercados, droguerías y ferreterías. En las actividades se trabaja con diversos fenómenos físicos (efecto Joule, magnetismo, tensión superficial...) y con reacciones químicas (pilas de combustible, formación de fuegos artificiales, reacciones de formación de complejos, reducción-oxidación, precipitación...) que se pueden realizar con el hierro, componente fundamental del estropajo de acero.

Palabras clave: Química del hierro, experiencias prácticas, educación secundaria, estropajo de acero.

Abstract

In this paper experiments concerning different physical and chemical properties are shown, with the aim of motivating and to improve the learning process in secondary students. All activities have in common the use of steel scourer (also known as steel wool or wire wool), easily accessible in supermarkets, drugstores or ironmonger's shops. This is due to the fact that every activity can be carried out with iron, the fundamental component of the steel scourer. Different physical phenomena (Joule effect, magnetism, surface tension...) and chemical reactions (electrolysis, fireworks formation, complexation reactions, redox, precipitation ...) were studied.

Keywords: iron chemistry, experiments, secondary education, steel scourer.

Introducción

La utilización de un producto comercial para introducir diversas actividades de física y/ o de química para alumnos de diversos niveles educativos es un recurso que, si bien no es habitual en la práctica educativa, sí que se recoge en distintos trabajos en la bibliografía. Así, se pueden destacar trabajos publicados en esta misma revista, sobre aspectos particulares como la preparación de mermelada¹ o estudios sobre el azúcar² como recursos didácticos. Sin ánimo de exhaustividad, se pueden destacar otros casos que inciden en la importancia de contextualizar la ciencia,³ mediante el estudio de minerales que se aplican en la vida cotidiana,⁴ el agua potable,⁵ las bebidas autocalentables y autoenfriables,⁶ los dentífricos,⁷ las sustancias antipolillas,⁸ el cocinado de alimentos⁹ o la información ofrecida en etiquetas de productos habituales,¹⁰ por citar algunos ejemplos.

Los objetivos de todos estos casos suelen ser comunes. Por una parte, se intenta motivar a los alumnos hacia el estudio de diversas propiedades y características de distintos materiales y sustancias, a través de un utensilio, sustancia o material común y bien conocido. Por otra parte, se pretende que el estudio focalizado en ese objeto o experiencia de la vida cotidiana sirva para estudiar distintos fenómenos.



M.L. Prolongo
Departamento de Física y Química, I.E.S. Manuel Romero,
Villanueva de la Concepción, 29230 Málaga.
marisaprolongo@hotmail.com

En este trabajo, se muestran un conjunto de actividades educativas experimentales que se han desarrollado con alumnos de Educación Secundaria, con los dos objetivos generales indicados. En algún caso, como el estudio detallado de reacciones de formación de complejos, se exceden los objetivos educativos de dicho nivel, pero se recogen en este trabajo para su posible adaptación para Bachillerato y primeros cursos universitarios.

El hilo conductor de las actividades es el uso, como material de partida, de estropajo de acero (también conocido como lana de acero), fácilmente accesible en supermercados, droguerías y ferreterías.

Este material está formado por hebras de fibras de acero y se usa fundamentalmente para limpieza y pulido de objetos, tanto a nivel industrial como en el hogar, por lo que es ampliamente conocido.

La base fundamental de las actividades propuestas son diversos fenómenos y reacciones químicas que se pueden realizar con el hierro, componente fundamental del estropajo de acero. Las reacciones y sus peculiares propiedades se ven favorecidas por la gran relación superficie a volumen que presenta este material comercial.

Un objetivo adicional es facilitar la posibilidad de trabajar en el laboratorio con productos económicos y de uso corriente, demostrando con ellos fenómenos físicos y químicos que se han estudiado previamente en clase.

Hace ya una década, Schwedt publicó el libro *“Experimente mit Supermarktprodukten. Eine chemische Warenkunde”*,¹¹ donde recopiló una serie de ensayos y experimentos que se desarrollaron en el *“Clausthaler SuperLab”*, el laboratorio de prácticas escolares del Instituto de Química Inorgánica y Analítica de la Universidad Técnica de Clausthal. Como se indica en la introducción de este libro, la iniciativa surgió como un proyecto dentro de un

programa denominado PUSH (*Public Understanding of Science and Humanities*) que buscaba mejorar el diálogo entre ciencia y sociedad. El proyecto trataba de contrarrestar el prejuicio ampliamente extendido según el cual se deben utilizar cosas o productos que “no contengan química”. Para responder a ese prejuicio, Schwedt indicaba que “todo lo que tiene que ver con nuestra vida es Química”, y propone en su obra nada menos que 160 experiencias con “productos del supermercado”.

Algunas de las experiencias recogidas en este trabajo hacen uso de algunas de las propuestas del citado libro, si bien no se articulaban en torno a estropajos de acero, como es el caso del presente estudio, sino a otro tipo de materiales. También se han recogido experiencias de páginas web seleccionadas^{12,13} y de los textos de Gillespie *et al.*¹⁴ y de las Profesoras Martín Sánchez.¹⁵

Experimentos sobre fenómenos físicos y químicos realizados con estropajo de acero

Experiencia 1: Demostración del cambio de masa en combustión

Necesitamos un estropajo, una regla grande de madera, papel de aluminio, cuña de madera, plastilina y fuego. Realizamos el montaje que se muestra en la Figura 1, donde inicialmente se dispone una pequeña cantidad de estropajo de acero en un lado de la balanza y una cantidad de plastilina de masa similar (se mantiene el equilibrio) en el lado opuesto. Al quemar la lana de acero se desequilibra la balanza, debido a que se forma óxido de hierro, de mayor peso. En este punto, los alumnos observan la facilidad que presenta la lana de acero para quemarse, por fuego, chispa o incluso con una pila, como se aprecia en otra experiencia. De hecho, puede hacerlo incluso mojada y por eso se ha empleado a veces como yesca en situaciones de emergencia.



Figura 1. Tras colocar en una balanza un trozo de plastilina y otro de estropajo de acero en equilibrio (izquierda), se quema el acero (derecha) y se desequilibra la balanza por el aumento de peso al formarse óxido de hierro.

Experiencia 2: Observación del campo magnético en 3D

Las limaduras de hierro se alinean con la presencia de fuertes campos magnéticos y así se puede visualizar la forma del campo magnético. Algo similar ocurre con los campos eléctricos creados por alto voltaje y por la electricidad estática. Si se exponen pequeñas fibras de acero a un campo eléctrico o magnético muy fuerte, se alinearán con el campo y lo harán visible.

Se necesita un imán, lana de acero para lavar platos, una botella de plástico llena de aceite para bebés y tijeras.

Mientras las fibras de acero están aún flotando en el aceite, se coloca un imán a un costado de la botella y se observan las virutas, que se alinearán con el campo magnético del imán y nos mostrarán una figura tridimensional (3D), como se observa en la Figura 2.



Figura 2. Observación de campos magnéticos.

Experiencia 3: Formación de fuegos artificiales

Para realizar el experimento necesitamos una vela y limaduras de hierro o lana de acero. Si encendemos la vela y dejamos caer limaduras de hierro directamente sobre la llama se observan unas chispas que salen de la llama en todas direcciones. Se debe a que el hierro en forma de limaduras presenta una superficie de contacto con el aire muy grande y puede arder si suministramos el calor suficiente. La llama de la vela, por ejemplo, proporciona la energía inicial que desencadenará la reacción de combustión entre el hierro y el oxígeno del aire, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Formación de “fuegos artificiales” con lana de acero.

En la fabricación de fuegos artificiales se emplean ciertos metales (en forma de óxidos y otras sales) que, al quemarse, producen chispas muy brillantes de diferentes colores.¹⁶ Al dejar caer limaduras de hierro sobre la llama de la vela el metal alcanza temperaturas muy altas (del orden de los 1500 °C), reacciona con el oxígeno del aire y produce la emisión de chispas.

Experiencia 4: Corriente eléctrica y efecto Joule

Para realizar este experimento necesitamos una pila de petaca (de 4,5 V o 9V) y lana de acero.

Si tocamos un trozo de lana de acero con uno de los bornes de la pila vemos que no pasa nada. Pero si lo tocamos con los dos bornes se observa que la lana de acero comienza a arder lentamente. Se debe a que, como material metálico, presenta alta conductividad eléctrica. Al tocar la lana de acero con los dos bornes de la pila se genera una corriente eléctrica. Debido al

efecto Joule, al circular la corriente eléctrica aumenta la temperatura del conductor (lana de acero) y el calor que se genera es suficiente para iniciar su combustión en presencia del oxígeno del aire (ver Figura 4). La reacción química entre la lana de acero y el oxígeno del aire produce óxido férrico, como se aprecia por el cambio de color de gris a negro, según la ecuación:

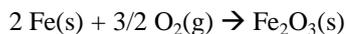


Figura 4. Colocación de la lana de acero (izquierda) para observar el efecto Joule que se genera con una pila y que provoca la combustión del metal (derecha).

Experiencia 5: Electrólisis y pila de combustible

Se construye una pila de combustible basada en la combustión del hidrógeno¹⁷. Para lograr la obtención de este elemento, de manera sencilla y económica, realizamos una electrólisis del agua.

Se produce la electrólisis con dos estropajos de acero -a los que van conectados los bornes de la pila, separados por láminas de papel de filtro; para acelerar el proceso, se añade una cucharada de sulfato de sodio (que aumenta la conductividad eléctrica) sobre el agua en el que se introducen los estropajos. Se deja todo el dispositivo aproximadamente un cuarto de hora, para que el oxígeno y el hidrógeno sean absorbidos por los estropajos. Luego se quita la pila y se introduce, en la misma posición, una bombilla o un dispositivo eléctrico (pequeño motor, LED...) y se observa que se genera una energía, gracias al funcionamiento de la pila de combustible, que permite encender la bombilla, accionar el motor...

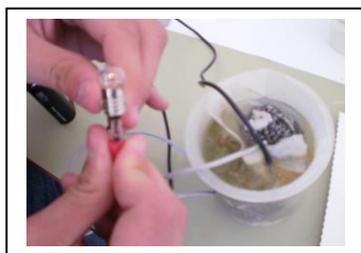


Figura 5. Fotografías de la pila de combustible encendiendo una bombilla según lo descrito en la experiencia 5.

Experiencia 6: Contenido de oxígeno en el aire

Para realizar el experimento necesitamos un vaso (o probeta), un plato, lana de acero y agua. En primer lugar, introduciremos un trozo de lana de acero en el vaso. Luego llenamos con agua el plato y colocamos el vaso con la lana de acero boca abajo sobre el plato con agua.

Si esperamos unas horas vemos que la lana de acero cambia de color (de gris a rojizo) y que el nivel de agua en el interior del vaso sube unos centímetros. Se debe a

que la lana de acero en contacto con el agua y con el oxígeno del aire se oxida. Esta reacción química consume el oxígeno del aire atrapado en el interior del vaso, con lo que disminuye la presión interna. La presión atmosférica externa, superior, hace que entre agua en el vaso. Si medimos con una regla (o directamente en una probeta si se opta por este recipiente en vez de utilizar un vaso) podemos ver que al subir el nivel del agua el volumen de aire atrapado en el interior del vaso disminuyó, aproximadamente, en un 20 %, como se observa en la Figura 6. Este es el porcentaje aproximado de oxígeno en el aire.

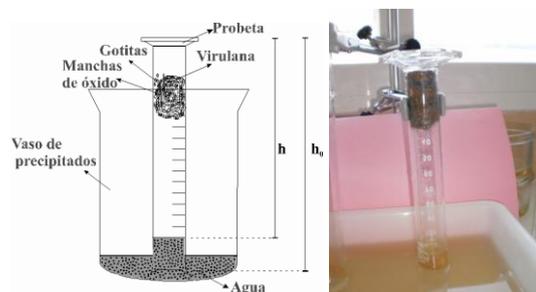


Figura 6. Esquema del procedimiento descrito en la experiencia 6 (izquierda) y fotografía del procedimiento seguido.

Experiencia 7: Variación de la tensión superficial

En un vaso o copa llena de agua volcamos virutas de hierro; la tensión superficial del agua crea fuerzas de suficiente intensidad en la superficie que impiden que las virutas de acero se hundan. Si añadimos unas gotas de jabón líquido o detergente vemos que se rompe la tensión superficial y se hunde las virutas de acero donde cae el jabón.

La tensión superficial se debe a las fuerzas intermoleculares y produce que la superficie del agua se comporte como si fuera una delgada película elástica (membrana). Esto permite que las virutas de acero puedan flotar en el agua (ver Figura 7). Al descender la tensión superficial por el jabón, las virutas de acero, más densas que el agua, se hunden.

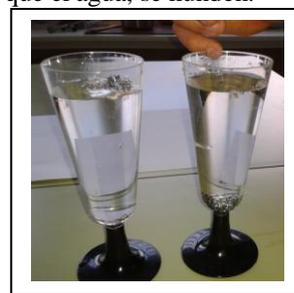
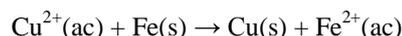


Figura 7. En la copa derecha se observan las virutas de estropajo de acero en la superficie del agua. En la de la izquierda, una vez añadido el detergente, las virutas de acero caen al fondo.

Experiencia 8: Reducción de sulfato de cobre(II)

Se sumerge el estropajo en sulfato de cobre(II) y se observa lo que ocurre (la disolución cambia de color azul intenso a verde) y el estropajo se recubre de una sustancia rojiza) (ver Figura 8). Se debe a la producción de la reacción redox:



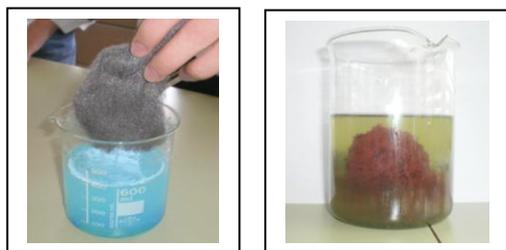


Figura 8. En la fotografía de la izquierda se introduce el estropajo de acero en disolución de sulfato de cobre (II) y se producen cambios en el color del sólido y de la disolución observándolo en la fotografía de la derecha.

Experiencia 9: Fabricación de tinta

Para esta experiencia se necesita una bolsita de té negro, aparte de estropajo de acero.

En un vaso de precipitado se ponen unos mililitros de té poco concentrado, y se diluye hasta que el color se vuelva amarillo pálido. Una parte servirá de control y otra se calienta hasta ebullición con el estropajo. Durante el calentamiento se observa que el té se va oscureciendo hasta llegar a tener una coloración negra, parecida a la tinta, como se observa en la Figura 9. Se debe a que entre los componentes del té se encuentra el ácido gálico, que forma con los iones de hierro un complejo de color intenso, como se detalla en el experimento 105 del texto de Schwedt.¹¹



Figura 9. Fotografías que nos muestra el cambio de color al calentar té negro con estropajo de acero.

Experiencia 10: Preparación de la “disolución o solución férrica”

Se mezcla ácido acético con virutas de estropajo de acero, formándose una disolución de acetato de hierro (II); se calienta, se filtra y se deja reposar dos o tres días, se va oxidando lentamente, pasando de amarillo a rojo-negro porque se va formando acetato de hierro (III), que diluiremos en agua hasta una coloración naranja. Esta disolución, llamada en el libro de Schwedt^[11] “solución férrica”, contiene iones de hierro(III) además de iones hierro(II), y la utilizaremos para otras reacciones.

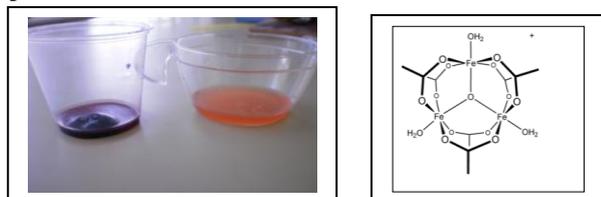
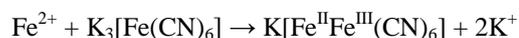


Figura 10. En la fotografía se muestra el aspecto de la “disolución férrica” concentrada (izquierda) y diluida (derecha). El dibujo muestra la estructura molecular del acetato férrico.

Experiencia 11: Detección del hierro por formación de complejos con hexacianoferrato (III) y con tiocianato amónico

Utilizaremos la solución férrica diluida de la experiencia 10 (de color naranja). En un tubo de ensayo, se añaden unas cuantas gotas de disolución de hexacianoferrato (III) de potasio a una pequeña porción de la solución férrica. Se produce así una reacción mediante la que se detecta el ión Fe^{2+} de la solución férrica. La reacción de identificación del ión Fe^{2+} es del tipo de formación de complejos, obteniéndose el conocido como azul de Prusia (Figura 11 izquierda):



Otra reacción que se realiza es la siguiente: se toma otra muestra de la solución férrica diluida en agua (de color naranja) y se introduce en otro tubo de ensayo; se añaden unas gotas de la disolución de tiocianato de amonio, con lo que se detecta la presencia del catión Fe^{3+} (al formarse el complejo pentaacuotiocianato-N-hierro (III), de color rojo sangre) (Figura 11 derecha):

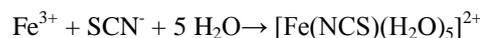


Figura 11. Fotografía de dos vasos con solución férrica y disolución acuosa de azul de Prusia (izquierda) y rojo sangre del pentaacuotiocianato-N-hierro(III) (derecha).

Experiencia 12: Oxidación del ácido ascórbico

Se disuelve vitamina C en agua y se añade, gota a gota la disolución férrica (color naranja) formada en la experiencia 10. Se anota el cambio de color donde cae la gota (se pasa de color verde a negro donde cae), como observamos en la figura 12.

En el sitio donde cae la gota el color cambia del verde al negro, lo que se explica por la reducción de los iones hierro (III) a iones de hierro (II). Si hacemos ahora la prueba de la detección de hierro (III) con tiocianato de amonio de la experiencia 11 nos da negativa, no sale el rojo sangre.

Según el libro de Schwedt^[11], la oxidación del ácido ascórbico tiene lugar en presencia de trazas de metal a través de un proceso en dos etapas pasando a ácido dehidroascórbico. La acción reductora se debe a la estructura del endiol.



Figura 12. Fotografías que se observa el oscurecimiento de la disolución de vitamina C al caer las gotas de la solución férrica.

Experiencia 13: Formación del complejo salicilato

Necesitamos dos aspirinas, vaso de precipitado, ácido clorhídrico concentrado y solución férrica diluida de la experiencia 10.

En un vaso de precipitado se echan una o dos pastillas de aspirina, se añaden unos 75 mL de agua y unas gotas de ácido clorhídrico concentrado, y se hierve hasta que quede una disolución transparente. Se deja enfriar hasta el día siguiente y habrán aparecido los cristales.

La aspirina es el ácido acetilsalicílico, que se hidroliza con agua, en presencia de iones H^+ que actúan como catalizadores, produciendo ácido acético y ácido salicílico. Este último es un sólido que cristaliza, mientras que el acético es líquido y queda en disolución.

El ácido salicílico, se pueden reconocer porque con la disolución férrica da una coloración morada, porque se forma el complejo de salicilato. Si la concentración es grande puede incluso aparecer como negra de lo oscura que es y es necesario diluir para apreciar el color morado.

Esta reacción es la que se utiliza en toxicología para investigar intoxicaciones con ácido salicílico o con sus derivados



Figura 13. Fotografía en el tubo de ensayo: en la izquierda la disolución hidrolizada de la aspirina y en el tubo de la derecha cuando se le echa la solución férrica.

Experiencia 14: Componentes fenoleicos en el aceite de tomillo

Se mezcla el tomillo en etanol y se filtra y a esa disolución se le añade gota a gota la solución férrica (proceso que se observa en la Figura 14).

Se produce un complejo entre los componentes fenólicos vegetales (que contiene el tomillo) y los iones de hierro (III), que hace que se intensifique el color.

El tomillo contiene la molécula timol con el grupo fenol, que es el grupo hidróxido unido a un anillo aromático que forma un complejo fuertemente coloreado con el hierro (III).

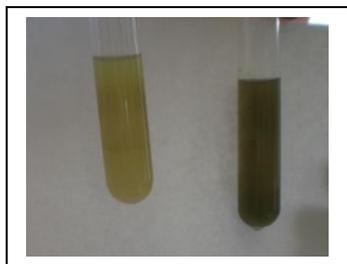
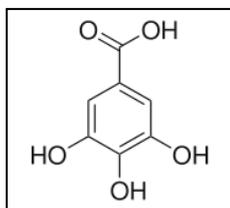


Figura 14. Molécula de timol que contiene el tomillo (izquierda) y aspecto de las disoluciones escritas en la experiencia 14: en el tubo

de la izquierda disolución de tomillo con etanol y en el tubo de la derecha la misma disolución pero además con solución férrica.

Experiencia 15: Los fenoles vegetales del comino como formadores de complejos de hierro

Se hace una disolución en caliente de comino en agua y luego se filtra. La disolución es de color amarillo. Cuando se le añade la solución férrica se produce un complejo entre los componentes fenólicos vegetales (que contiene el comino) y los iones de hierro (III) de tal manera que se oscurece la disolución.

El comino contiene como componentes principales los terpenos (+), limoneno (30% a 45%) y carvona (50-60%) con el grupo fenol, que es el grupo hidróxido unido a un anillo aromático que forma un complejo fuertemente coloreado con el hierro (III).



Figura 15. En el tubo de la izquierda de muestra la disolución de comino y, en el de la derecha, la disolución de comino con solución férrica observando un color más intenso.

Experiencia 16: Componentes fenoleicos del café como formadores de complejos de hierro

En frío se prepara una disolución con una pequeña cantidad de café soluble en agua, que esté poco coloreada. Se filtra y se añade a continuación unas gotas de la solución férrica y se observa el color en el sitio donde caen las gotas.

El extracto de café toma primero un color verde que luego vira a marrón, porque, según el libro de Schwedt^[11], en el extracto de café los iones hierro (III) se reducen primero a hierro (II), y forman después un complejo de hierro con los componentes fenoleicos del café. Es una muestra del poder reductor de los extractos de café.



Figura 16. Tubo de ensayo con un poco de café de sobre con agua (derecha) y la misma disolución de café con disolución férrica (izquierda). Se observa una intensificación del color.

Experiencia 17: Complejo de hierro (III) con fluoruro

A la disolución férrica se le añade gota a gota un colutorio que contiene flúor, observándose que desaparece lentamente el color porque se forma el

complejo hexafluoro ferrato (III), $[\text{FeF}_6]^{3-}$, que es incoloro (Figura 17).



Figura 17. Disolución férrica (izquierda) y disolución férrica con locutorio que contiene flúor (derecha).

Experiencia 18: Precipitación del fosfato de hierro (III) con las bebidas de cola

Se calienta hasta ebullición una bebida de cola y una vez fría se echa gota a gota la disolución férrica.

Las bebidas de cola contienen como agentes acidificantes el ácido fosfórico que, al mezclarlo con la solución férrica, forma fosfato de hierro (III) difícilmente soluble, por lo que se decolora la disolución y aparece una turbidez que va precipitando lentamente.



Figura 18. Bebida de cola calentada (izquierda) y la misma bebida de cola con disolución férrica (derecha). Se observa cómo la disolución se decolora y precipita muy lentamente el fosfato de hierro (III).

Participación en certámenes científicos

Este proyecto, con el título de “Ciencia con estropajo”, participó en la actividad de “Ciencia en el Aula” del Parque de la Ciencias de Granada (Figura 19). Además, obtuvo dos reconocimientos: primer premio del concurso de “Experimentos de Ciencia”, Categoría B (E.S.O.), convocado por el Centro de Ciencia Principia de Málaga (2012), y mención de honor en la modalidad de “Demostraciones de Química” en el Certamen de Ciencia en Acción (Alcobendas, Madrid, 2012). En ambos casos, los alumnos se implicaron de diferente manera, presentando incluso los trabajos ante jurados que calificaban las acciones realizadas. Estas circunstancias suponen un aliciente y una labor de aprendizaje adicional por parte de los alumnos. Por ejemplo, en la Figura 20 se muestra el póster que prepararon para la presentación en el segundo certamen citado y, en la Figura 21 se muestra el aspecto del *stand* que prepararon.

Conclusiones

El estropajo de acero es un producto económico, que se encuentra fácilmente y es bien conocido por alumnos de educación secundaria. Como hemos explicado, permite demostrar fenómenos físicos y químicos cualitativamente (de forma acorde a los objetivos de la educación secundaria). Además, dicha actividad sirve para que puedan integrar lo aprendido y valorar más la utilidad del aprendizaje, al comprobar sus posibilidades de aplicación a casos reales. Sirve también para que los alumnos desarrollen ciertas competencias, como trabajo experimental, creatividad y comunicación. Por ello se recomienda su realización y, con distinta profundidad, podría aplicarse también en otros niveles educativos.



Figura 20. Participación en “Ciencia en el Aula” en el Parque de la Ciencias de Granada (2012).



Figura 19. Cartel preparado por los alumnos para participar en un certamen científico con las experiencias descritas.



Figura 21. Aspecto del *stand* donde se presentó el trabajo en el certamen de Ciencia en Acción (2012).

Agradecimiento

Se agradecen las facilidades prestadas por el IES Manuel Romero de Villanueva de la Concepción (Málaga) para desarrollar el trabajo educativo aquí presentado, así como el interés de los alumnos que participaron en él (destacando la labor desarrollada por las alumnas Estefanía García, Lucía Hoyos y Flores Aldana). Se agradece también al Centro de Ciencia Principia de Málaga y al programa de Ciencia en Acción, que desarrollan una importante labor de divulgación científica, por la motivadora acogida que prestaron a la actividad.

Bibliografía

- [1] J. A. Martínez Pons, *An. Quím.* **2009**, 105(3), 221-226.
- [2] A. Sánchez Soberón, A. I. Bárcena Martín, *An. Quím.* **2007**, 103(1), 46-49.
- [3] A. Caamaño, *Alambique: Didáct. Cienc. Experim.* **2005**, 46, 5-8.
- [4] V. Escandell, X. Salat, A. Vilaseca, *Alambique: Didáct. Cienc. Experim.* **2005**, 46, 47-59.
- [5] M. F. Paixao, *Alambique: Didáct. Cienc. Experim.* **2005**, 46, 60-67.
- [6] M. L. Prolongo, G. Pinto, *Educ. Quím.* **2010**, 7, 4-14.
- [7] G. Pinto, *J. Chem. Educ.* **2009**, 86, 185-187.
- [8] G. Pinto, *J. Chem. Educ.* **2005**, 82, 1321-1324.
- [9] P. Castells Esqué, *Educ. Quím.* **2010**, 7, 37-45.
- [10] G. Pinto, M.L. Prolongo, *Internat. J. Engin. Pedag.*, en prensa.
- [11] G. Schwedt, *Experimentos con productos de supermercado: merceología química*, Acribia, Zaragoza, 2009.
- [12] El rincón de los experimentos (I.E.S. Victoria Kent de Torrejón de Ardoz, Madrid): <http://bit.ly/UpGsE>, visitada el 6/11/2012.
- [13] Fq experimentos; experimentos caseros de física y química: <http://bit.ly/TbhlDm>, visitada el 6/11/2012.
- [14] R. J. Gillespie, D.A. Humphreys, N.C. Baird, E.A. Robinson, *Química*, Reverté, Barcelona, 1990.
- [15] M. T. Martín Sánchez, M. Martín Sánchez, *Ideas para realizar trabajos de tipo experimental Química. Guía del profesor*, Salamanca, 1995.
- [16] F. I. de Prada Pérez de Azpeitia, *An. Quím.* **2006**, 102(2), 54-59.
- [17] M. Segura, J. Valls, J. Martí, *La batería de hidrógeno y la pila de combustible*: <http://www.youtube.com/watch?v=MM4YT-fNBTs>, visitada el 18/12/2012.