

# Reacciones químicas didácticas con pajitas ecológicas

Reaccions químiques didàctiques amb palles ecològiques

Didactic chemical reactions with ecological drinking straws

Pablo Cassinello Espinosa / Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química RSEF-RSEQ



## resumen

Se proponen reacciones químicas que se llevan a cabo con la ayuda de pajitas ecológicas para bebidas. Estas reacciones implican conceptos fundamentales y resultan llamativas y lúdicas a los estudiantes. Se pretende aumentar su motivación e implicación y fomentar una enseñanza basada en la indagación y el razonamiento.

## palabras clave

Neutralización ácido-base, oxidación, precipitación, gases exhalados, aprendizaje por indagación.

## resum

Es proposen reaccions químiques que es duen a terme mitjançant palles per beure ecològiques. Aquestes reaccions impliquen conceptes fonamentals i resulten cridaneres i lúdiques per als estudiants. Es pretén augmentar la seva motivació i implicació i fomentar un ensenyament basat en la indagació i el raonament.

## paraules clau

Neutralització àcid-base, oxidació, precipitació, gasos exhalats, aprenentatge per indagació.

## abstract

Didactic chemical reactions with ecological drinking straws that cover fundamental topics are proposed. They are attractive and playful to the students. It is intended to increase motivation and involvement and to encourage reasoning and inquiry-based teaching.

## keywords

Acid-base neutralization, oxidation, precipitation, exhaled gases, inquiry based learning.

## Introducción

En este artículo se presentan con intencionalidad didáctica algunas reacciones químicas realizadas con la ayuda de pajitas ecológicas para bebidas. Este material se hace necesario porque en tres de ellas hay que soplar suavemente y en la cuarta hay que introducir una pajita en una disolución para que al agitar cambie misteriosamente de color.

Con estas actividades se consigue una buena motivación e implicación de los alumnos en el aprendizaje de principios de química importantes, porque estas reacciones inciden en temas fundamentales: oxidación-reducción, reacciones de ácido-base y precipitación.

Para que estas reacciones supongan un buen avance pedagógico es conveniente seguir

un proceso indagativo (Caamaño y Corominas, 2020). Se supone, por tanto, que se va a establecer un diálogo con los alumnos en el cual ellos manifiesten una predicción de lo que va a ocurrir y, después de realizar la experiencia, aventuren explicaciones interpretativas de lo observado. Con ayuda del docente se contrastan las hipótesis iniciales y se ayuda a clarificar una interpretación final.

Las pajitas son un material muy económico y cercano a la vida cotidiana de los estudiantes. Las que se utilizan son ecológicas (hechas de materiales como maíz, papel, bambú...) y no de plástico porque estas no son biodegradables.

En estas experiencias no se precisa de un material sofisticado ni de un instrumental y un montaje complicados. Decía Maxwell que el valor educativo de un experimento es, a menudo, inversamente proporcional a la complejidad del diseño experimental que requiere (Maxwell, 1871).

Son experiencias sencillas que captan el interés de los estudiantes porque utilizan gases que generan sus propios pulmones. No son sustancias extrañas y ajenas a su entorno. Les llama la atención que ellos mismos provoquen estas reacciones mediante el aire que exhalan. Con estas reacciones van a conocer la composición del aire que espiran (e inspiran). Cuando se pide a los estudiantes que propongan explicaciones para estas reacciones, hemos constatado que sorprendentemente muchos piensan que el aire exhalado es casi todo dióxido de carbono y que no contiene oxígeno, cuando en realidad presenta solo un 4 % de dióxido de carbono y un 16 % de oxígeno (Banet y Núñez, 1990).

En estas experiencias hay participación directa de los estudiantes pues en cada una de ellas se pide que algún voluntario las realice, ya sea soplando sin ningún riesgo con un material desechable biodegradable, o bien introduciendo y retirando una pajita en un matraz. Pueden participar varios alumnos en cada sesión, cada uno con sus propias pajitas desechables. Todos los experimentos que sugerimos permiten ser repetidos un número elevado de veces, así que son experiencias susceptibles de

llevarse a cabo en una feria, clase o exposición en público.

El problema que podría haber en este tipo de reacciones es que al soplar se produjeran salpicaduras. Para evitarlo proponemos unir tres pajitas con fuelle, así se sopla a cierta distancia y cómodamente, y sugerimos utilizar un matraz aforado, un matraz con embocadura relativamente pequeña o una botella. En la figura 1 hay un esquema de este montaje fácil, sencillo y lúdico. Para introducir las pajitas una en otra rápidamente lo mejor es hacer un pequeño corte en bisel con unas tijeras en el extremo de la pajita que se va a introducir en otra. Además, este montaje permite también estar a suficiente distancia del recipiente para observar fácilmente los cambios que se vayan produciendo en el mismo. Con este dispositivo o montaje se evitan las reticencias de algunos docentes a realizar este tipo de prácticas alegando la suciedad y peligrosidad de las salpicaduras (cuando se realiza solo con una pajita). Otra ventaja de ensamblar tres pajitas radica en que los extremos del montaje son claramente distintos, evitando cualquier confusión en la elección de aquel por el que se sopla e impedir así que se tome contacto con el líquido si se sopla en dos veces. Además la posibilidad de aspirar en vez de soplar

resulta prácticamente imposible por el largo recorrido que hay desde el recipiente hasta la boca.

Estas prácticas están dirigidas sobre todo a alumnos que cursen la asignatura de química en secundaria obligatoria. Ahora bien, también son interesantes en bachillerato con un análisis de mayor profundidad que también sugerimos. En el vídeo cuyo enlace recogemos en las referencias (Cassinello, 2022) pueden verse todas las reacciones que proponemos.

### Reacciones de neutralización en disoluciones extremadamente diluidas

Los alumnos denominan a esta experiencia la pajita mágica de los colores. Ahora veremos por qué.

#### Preparación de la experiencia

Se rellena hasta la mitad un vaso de precipitados de 250 mL con agua destilada. Se echan unas 3 o 4 gotas del indicador azul de bromotimol. Se coloca papel de filtro debajo del vaso para apreciar mejor los cambios de color.

Se ponen cerca del vaso de precipitados dos matraces (o vasos) de medio litro con una disolución ácida y otra básica. Una con 400 cm<sup>3</sup> de ácido clorhídrico 0,1 M o 0,2 M y otra con el mismo volumen y concentración de hidróxido de sodio.

Finalmente, se pone una pajita de color azul o similar en la



Figura 1. Montaje con tres pajitas: a) esquema; b) imagen.

disolución básica y otra pajita de color amarillo en la ácida.

### Desarrollo de la experiencia

Al principio, el vaso con agua destilada y gotas de indicador presenta un color verde. Se pide a algún alumno voluntario, que procederá como sigue: se coge la pajita amarilla (que estaba en el matraz con ácido) y se introduce en el vaso (sin apretarla, solo introduciéndola) y se agita. El color verde se transforma en amarillo. Se deja la pajita utilizada en su matraz. A continuación, se coge la pajita azul y se introduce en el vaso. Al agitar, el amarillo se transforma en azul. Se vuelve a dejar esta pajita en su disolución básica. Se puede repetir la experiencia tantas veces como se desee. Se deja tiempo para que la clase o audiencia emita o piense distintas hipótesis. A continuación, se retiran las dos pajitas y otro voluntario vuelve a hacer la experiencia pero solo con una pajita de cualquier color. Cuando solo hay una, se procede así: se mete y se saca rápidamente la pajita de la disolución ácida (o básica), a continuación se introduce en el vaso con agua y se agita. Si la pajita procede de la disolución alcalina se consigue el color azul. Pero si se metió previamente en la disolución ácida aparece el color amarillo (fig. 2). También se puede

reiterar muchas veces, produciendo asombro en el espectador.

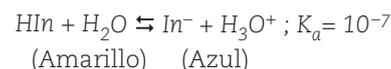
### Primeras hipótesis e interpretación final de la reacción química

Antes de explicar lo que ocurre podemos animar a los estudiantes a lanzar posibles explicaciones. Algunos afirman al principio que la pajita transmite su color y posteriormente, después de realizar la experiencia con una sola pajita, que tiene propiedades que hacen cambiar el color. Pero algunos estudiantes creen, acertadamente, que el cambio de color no se debe a la pajita sino a la disolución de donde procede. No se pueden dejar llevar por las apariencias. El cambio de color en todos los casos se produce porque una o dos gotas quedan adheridas a la pajita cuando se saca de cualquiera de las disoluciones y son suficientes para cambiar el pH del vaso con agua y así variar el color del indicador utilizado, que es idóneo para detectar ligeros cambios de acidez y basicidad en el agua. Adquiere color amarillo cuando la disolución es ligeramente ácida y color azul cuando es ligeramente básica. Efectivamente, el intervalo de viraje en pH del azul de bromotimol es (6,0-7,6). En el momento en que se acidifica un poco, por ejemplo a pH = 5,8, aparece el color amarillo. Pero basta con introducir muy

poco de la disolución básica para neutralizar esta acidez y conseguir un pH ligeramente básico, por ejemplo pH = 7,8. Ahora se observa el color azul.

La experiencia puede analizarse con más profundidad con alumnos de bachillerato.

El equilibrio del indicador (In) es el siguiente:



Si se añade un ácido, el equilibrio se desplazará hacia la izquierda y predominará el color de su forma ácida. Si se añade una base predominará la forma  $In^-$ , que es la básica. Al principio, en agua destilada, la concentración de  $In^-$  y de  $HIn$  son prácticamente iguales.

Según la ley de acción de masas,

$$K_a = 10^{-7} = \frac{[In^-] \cdot [H_3O^+]}{[HIn]}$$

Utilizando cologarismos se obtiene:

$$pK_a = pH + p[In^-] - p[HIn].$$

$$7 = pH + p[In^-] - p[HIn].$$

Al principio, el agua destilada (con pH = 7) tenía color verde (fig. 3).

$$7 = 7 + p[In^-] - p[HIn]$$

Por tanto:  $p[In^-] = p[HIn]$ . Como la concentración de la forma azul



Figura 2. Coloración del agua con azul de bromotimol al agitar con una pajita previamente sumergida: a) en medio ácido; b) en medio básico.

coincide con la de la especie amarilla, el color visualizado es verde (mezcla de azul y amarillo).

Si el pH es significativamente menor que 7,  $[HIn]$  es mayor que  $[In^-]$ , así que se aprecia de color amarillo. Y si el pH es suficientemente mayor que 7,  $[HIn]$  es menor que  $[In^-]$ , por lo que se ve de color azul.



Figura 3. Agua destilada con azul de bromotimol

De todos los indicadores más utilizados este es el único, junto con el rojo neutro, cuyo  $pK_a$  es próximo a 7 y, por lo tanto, con un intervalo de viraje idóneo para esta experiencia. En el caso del rojo neutro, también llamado rojo fenol, el intervalo de viraje de pH es (6,7-8) y los colores son rojo en medio básico y amarillo en medio ácido. Se utiliza profusamente para detectar aproximadamente el pH de las aguas de las piscinas, pues a pH inferior a 6,7 es amarillo y en las condiciones adecuadas para el baño con pH ligeramente alcalino adquiere color naranja.

Los alumnos de bachillerato pueden analizar la variación de pH (o de pOH) que producen una o dos gotas adheridas a la pajita cuando se introduce en agua: si se toma como volumen de una gota  $0,05 \text{ mL}$ , hay  $0,05 \cdot 10^{-3} \text{ L} \cdot 0,15 \text{ mol L}^{-1} = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$  de ácido (o base). Así que con una gota se obtiene  $\text{pH} = -\log 7,5 \cdot 10^{-6} = 5,12$ . Si hay 2 gotas, hay doble cantidad:  $15 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$ , cuyo cologaritmo es  $\text{pH} = 4,8$ .

Se sugiere empezar la experiencia con agua destilada recién extraída de su recipiente. Con el

indicador utilizado (azul de bromotimol) se observa color verde. Si el agua destilada se deja un rato a la intemperie se disuelve un poco el dióxido de carbono del aire de la habitación y da color amarillo. Si se comienza con agua del grifo o embotellada mineral el indicador toma normalmente color azul porque contiene pequeñas cantidades de sales que le dan un carácter ligeramente alcalino. Al comenzar con agua de lluvia el indicador presenta color amarillo porque lleva en disolución un poco de dióxido de carbono de la atmósfera, obteniéndose un pH aproximado de 5,8.

### Acidificación de una disolución con dióxido de carbono del aire exhalado

#### Preparación de la experiencia

Preparamos una disolución muy diluida de hidróxido de sodio (sosa cáustica). En nuestro caso hemos añadido 1 L de agua a 0,2 g de NaOH. Vertemos  $100 \text{ cm}^3$  de la disolución en un matraz aforado de  $250 \text{ cm}^3$ . Se añaden unas gotas de fenolftaleína. La disolución adquiere un color rosa característico, porque el intervalo de viraje de pH es (8,2-10). Para acidificar la disolución se introducirá aire exhalado. Se pregunta a la audiencia de qué gas se trata. Finalmente, se pone papel de filtro debajo del matraz para apreciar mejor los cambios de color.

#### Desarrollo de la experiencia

Para neutralizar la base se pide a algún alumno voluntario que sople (fig. 4a) utilizando un montaje con tres pajitas recién hecho como el de la figura 1 para evitar cualquier derrame de líquido. Al cabo de poco tiempo, la disolución se vuelve incolora (fig. 4b), momento en que se ha conseguido la neutralización.

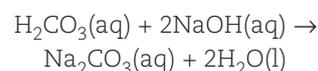
Puede repetirse la reacción más veces si se añaden a la

disolución ya neutralizada unas gotas de otra disolución ya preparada de sosa en agua más concentrada. Así pueden participar más estudiantes de la misma clase.

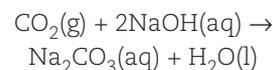
### Primeras hipótesis e interpretación final de la reacción química

Al introducirse una sustancia de carácter ácido, reacciona con la base (hidróxido de sodio) produciéndose su neutralización. Cuando se ha completado la reacción, el pH es más cercano a 7 por lo que cambia el color de la fenolftaleína que pasa de rosa a incoloro (fig. 4).

Los alumnos suelen acertar al emitir hipótesis, pues piensan que el gas espirado que interviene en la reacción es dióxido de carbono, pero no saben que tiene carácter ácido. Cuando se explica que parte de este dióxido de carbono al disolverse en agua da  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (ácido carbónico), piensan que la reacción que tiene lugar es la siguiente:



Ahora bien, el 99 % del dióxido de carbono disuelto está en forma gaseosa en vez de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (De Vicente, 1985), luego la reacción predominante debe ser esta:



El  $\text{CO}_2(\text{g})$  proviene del aire exhalado introducido. Es el 4 % del mismo, aunque es frecuente que los estudiantes piensen que su porcentaje es mucho más elevado, incluso para algunos de casi el 100 %. En cambio, en el aire circundante solo representa el 0,04 % del aire (sin embargo, se trata del valor más elevado desde la revolución industrial, con el mayor efecto invernadero).

A los alumnos de bachillerato se les advierte que el cambio a



Figura 4. Acidificación: a) antes de soplar aire exhalado; b) después de soplar aire exhalado.



Figura 5. Experiencia de oxidación de la glucosa: a) antes de soplar aire exhalado; b) después de soplar aire exhalado.

color incoloro de la fenolftaleína no significa un pH neutro ( $\text{pH} = 7$ ), sino ligeramente mayor a 7, porque se forma la sal carbonato de sodio, que presenta hidrólisis (Vinagre y Vázquez, 1984). Por tanto, la fenolftaleína es un indicador adecuado para esta reacción, pero no se deben utilizar indicadores como el utilizado en la práctica anterior (azul de bromotimol), pues no se va a detectar exactamente el punto de equivalencia ya que su intervalo de viraje abarca valores de pH más bajos, incluso de carácter ácido (6-7,6).

#### Oxidación de la glucosa con oxígeno del aire exhalado

##### Preparación de la experiencia

Se prepara una disolución de  $250 \text{ cm}^3$  que contenga 3 g de hidróxido de sodio y 5 g de glucosa. Se ponen unos  $200 \text{ cm}^3$  de la disolución en un matraz aforado de 250 mL con tapón y se añaden unas gotas del colorante azul de metileno (se utiliza sobre todo para teñir células o bacterias). Se pone el tapón al matraz aforado. Se coloca papel de filtro debajo del matraz para apreciar mejor los cambios de color.

#### Desarrollo de la experiencia

Se observa que poco a poco va desapareciendo el color azul de la disolución hasta hacerse incoloro. Se advierte a los alumnos que para conseguir otra vez color azul hay que mezclarlo con aire. Para hacerlo, normalmente se sugiere agitar el matraz cerrado para que la disolución se mezcle con el aire remanente en el matraz (Baker, 2006). Nosotros proponemos soplar por una pajita para mezclarlo con el aire exhalado. Se pide a un estudiante voluntario que lo haga, utilizando un montaje recién hecho como el de la figura 5.

Después de obtenerse el color azul, se cierra el matraz con el tapón. Se observa que de nuevo poco a poco la disolución se va volviendo incolora. Puede repetirse el proceso varias veces, por lo que pueden participar varios alumnos, cada uno con sus pajitas biodegradables y desechables.

### Primeras hipótesis e interpretación final de la reacción química

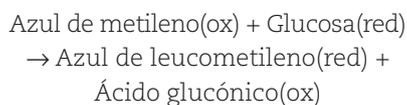
Al alumnado se le dice que en el caso de realizar la experiencia con el aire circundante es el oxígeno de éste el que provoca la reacción. Al plantearse qué componente actúa en el caso, que han visionado, de utilizar aire exhalado, algunos vacilan en identificar al oxígeno como reactivo en el aire espirado. Entonces, se explica y aclara el proceso que ocurre, que incluye una fase rápida y otra lenta.

Fase lenta: cuando el azul de metileno oxida a la glucosa en presencia de hidróxido de sodio (sosa cáustica), se reduce y se vuelve incoloro.

Fase rápida: al añadir oxígeno del aire (circundante o exhalado) para que vuelva a oxidarse el azul de metileno, vuelve a aparecer el color azul.

El aire que exhalamos con el que se realiza la experiencia tiene un 16 % de oxígeno por lo que también produce la oxidación del azul de metileno. A los alumnos les sorprende que el aire que espiramos tenga un porcentaje de oxígeno casi como el del aire circundante (21 %) (Gálvez *et al.*, 1998).

A los estudiantes que se considere conveniente, se les puede explicar la reacción redox lenta que ha tenido lugar:



El azul de metileno es una sustancia que en su forma oxidada

tiene un color azul intenso, pero en su forma reducida, azul de leucometileno, es incolora. La glucosa se oxida y se transforma en ácido glucónico. Esta reacción es idónea para realizar estudios cinéticos, porque hay una etapa lenta que se vuelve más rápida si la concentración de los reactivos es mayor. Es importante asegurarse de utilizar glucosa, ya que no se puede hacer con azúcar (sacarosa).

### Reacción de precipitación con dióxido de carbono exhalado

#### Preparación de la experiencia

Se necesita una disolución de hidróxido de calcio (cal apagada) disuelta en agua. Puede conseguirse mezclando este sólido blanco en agua; o bien introduciendo óxido de calcio (cal viva) en agua [ $\text{CaO(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2\text{(aq)}$ ], que debe hacerse con las debidas precauciones porque libera una gran cantidad de calor, por lo que es un caso idóneo para explicar o recordar qué es una reacción exotérmica. En este caso se ha preparado una disolución de 500 mL que contiene agua y unos 5 g de óxido de calcio. Se agita hasta la disolución. En el matraz aforado solo se vierten 100 mL de la misma.

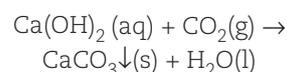
#### Desarrollo de la experiencia

Cuando algún voluntario sopla por tres pajitas recién ensambladas (fig. 6) en una disolución preparada, se observa que en la disolución transparente aparece una sustancia blanca que enturbia cada vez más la disolución. Se indica a los estudiantes que se ha obtenido un precipitado.

### Primeras hipótesis e interpretación final de la reacción

A los alumnos se les pregunta cuál creen que es el producto que precipita y que con sus soplidos han conseguido obtener. Se trata de un producto muy abundante

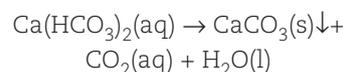
en la naturaleza, principal componente de minerales y rocas como la calcita o la caliza. También se les pregunta cuál ha sido el gas del aire exhalado que interviene en la reacción y cómo es posible que un gas consiga un precipitado blanco. Se explica que la reacción que ha tenido lugar se conoce como carbonatación. Es una reacción química en la que el hidróxido de calcio reacciona con el dióxido de carbono y forma carbonato de calcio insoluble y de color blanco:



A partir de un gas y un sólido disueltos, reorganizándose los átomos de éstos, se forma una nueva sustancia que precipita porque es un sólido insoluble.

Conviene limpiar bien el matraz después de cada sesión porque el carbonato de calcio deja una mancha blanca en el matraz que es difícil de quitar al cabo del tiempo.

A diferencia del hidrogenocarbonato de calcio que sí es soluble, el carbonato no lo es. Este hecho explica la formación de estalactitas y estalagmitas según la siguiente reacción (favorecida cuando la presión de dióxido de carbono es baja):



Hay que tener en cuenta que la concentración de  $\text{CO}_2\text{(aq)}$  viene determinada por la concentración de  $\text{CO}_2$  gaseoso, de acuerdo con el equilibrio:



Puede sugerirse a los estudiantes que investiguen la utilidad tradicional de la cal apagada. La suspensión de hidróxido de calcio



Figura 6. Precipitación de carbonato de calcio: a) disolución transparente de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; b) después de soplar se enturbia.

en agua (lechada de cal) se utiliza para encalar las paredes de las casas, por su intenso color blanco, con el fin de reflejar la luz solar y así conseguir rebajar la temperatura, además de ser un buen desinfectante.

A los alumnos de segundo de bachillerato se les pide calcular la solubilidad del carbonato de calcio teniendo en cuenta el valor de su producto de solubilidad a  $25\text{ }^\circ\text{C}$ :  $K_s = 3,36 \cdot 10^{-9}$ .

Por tanto, la solubilidad es:  $s = \sqrt{K_s} = \sqrt{3,36 \cdot 10^{-9}} = 5,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  que equivale a 0,058 g de carbonato de calcio por cada 100 mL de disolución.

### Conclusiones

La utilización de pajitas para llevar a cabo algunas reacciones químicas fundamentales puede ser beneficiosa porque son reacciones que atraen, gustan a los alumnos y generan interés por conocer y aprender procesos químicos importantes de oxidación-reducción, de precipitación y de ácido-base. Los estudiantes llevan a cabo las transformaciones químicas con los gases que exhalan y elaboran explicaciones sobre la composición de estos gases y de los fenómenos observados.

### Agradecimientos

Agradecemos la labor y todas las sugerencias de los revisores. Asimismo, queremos dar las gracias a las alumnas que han llevado a cabo las experiencias y han dado permiso para que sus fotos sean publicadas en la revista.

### Referencias

- BANET, E.; NÚÑEZ, F. (1990). «Esquemas conceptuales de los alumnos sobre la respiración». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 8, n.º 2, p. 105-110.
- BAKER, C. (2006). «THE 'BLUE BOTTLE' REACTION». *Education in Chemistry*, vol. 43, n.º 6. p. 155.
- CAAMAÑO, A.; COROMINAS, J. (2020). «Modelització macroscòpica dels canvis físics i químics. Un diàleg constant entre observació, interpretació, experimentació i argumentació». *Educació Química EduQ*, n.º 27, p. 19-26.
- CASSINELLO, P. (2022). *Reacciones químicas utilizando pajitas ecológicas* [en línea]. <[https://youtu.be/\\_viI\\_enQWYM](https://youtu.be/_viI_enQWYM)>
- DE VICENTE, S. (1985). *Química de las disoluciones: diagramas y cálculos gráficos*. Alhambra Universidad.
- GÁLVEZ, F. J.; LLOPIS, A.; LÓPEZ, R.; RUBIO, C. (1998). *Física: curso*

*teórico-práctico de fundamentos físicos de la ingeniería*. Editorial Tebar, p. 456.

MAXWELL J. C. (1871). *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Vol. II. [W. D. Niven (ed.)]. Nueva York: Dover (1965), p. 241-255.]

VINAGRE, F.; VÁZQUEZ, L. M. (1984). *Fundamentos y problemas de Química*. Departamento de Química General de la Universidad de Extremadura. Gráficas Varona.



### Pablo Cassinello Espinosa

Doctor en Ciencias Químicas. Ha participado con sus alumnos de secundaria en numerosas actividades científicas. Ha sido galardonado en muchas ocasiones en certámenes como Ciencia en Acción. También ha sido ponente en cursos de formación de profesorado. Sus artículos y ponencias promueven la enseñanza de la química con materiales sencillos y lúdicos.

C. e.: [pbcassi@gmail.com](mailto:pbcassi@gmail.com)