

Aportaciones para la enseñanza de la química con orientación ecológica.

# La pila ecológica\*

Rosana Piovoso,<sup>1</sup> Mauricio Hernández,<sup>1</sup> Cristina Pogliani,<sup>2</sup> Daniel Mártire,<sup>1</sup> Alicia Jubert<sup>1</sup>

## Abstract

In this work we propose the construction of batteries of the type "lemons battery" to put into operation different LED. Since some of the main purposes of the teaching are the development in the students of capacities and cognizances that train them for the labor or academic world and the incorporation of the scientific and technological advances, this experience is interesting since it allows us to elaborate a research project where the student, with the appropriate intervention of the educational staff, can elaborate new concepts or give new significance to others. Considering these issues, the work is aimed to integrated courses of sciences of secondary level that include chemistry and physical topics, with courses of Technical Professionals Itineraries of secondary level, to basic university courses of chemistry for engineering students since the fundamental purposes are the introduction to the science of the materials, or to chemistry introductory courses for licentiate careers in chemistry or of chemical engineering. It can also be used in those that treat the involved topics (electrochemistry and electric circuits), taking advantage of the horizontal interaction between two parallel courses of chemistry and physics.

The proposed experience will be able to be applied in the frame of diverse methodologies; for example: it can be used in the frame of a small investigation project for the students (methodology for directed investigation). Also, we verify other experiments proposed in the literature with the employment of this battery.

This work can be considered capable to globalize concepts since there are integrated topics corresponding to other sciences, fundamentally of the physics, since different topics

can be discussed as: Faraday laws, electric circuits, operation of LED, components and operation of motors.

## Resumen

En este trabajo proponemos la construcción de pilas del tipo "pila de limones" (o pila ecológica) para poner en funcionamiento distintos LED. Como algunos de los objetivos de la enseñanza son el desarrollo en los alumnos de capacidades y competencias que los preparen para el mundo laboral o académico y la incorporación de los avances científicos y tecnológicos, esta experiencia resulta interesante ya que permite elaborar un proyecto de investigación donde el alumno, con la adecuada intervención del docente, puede trabajar nuevos conceptos o resignificar otros. Pensando en esto, este trabajo está dirigido a cursos de ciencias integrados de nivel secundario que incluyan temas de química y física, a cursos de Trayectos Técnicos Profesionales (TTP) de nivel secundario, a cursos universitarios básicos de química para alumnos de ingeniería en los que la materia consta de una introducción a la ciencia de los materiales, o bien a cursos introductorios de química para carreras de licenciatura en química o de ingeniería química. También puede emplearse, aprovechando la interacción horizontal entre dos cursos paralelos de química y física, en aquellos que traten los temas involucrados (electroquímica y circuitos eléctricos).

La experiencia propuesta podrá ser utilizada en el marco de diversas metodologías, por ejemplo: puede emplearse en el marco de un pequeño proyecto de investigación para los alumnos (metodología por investigación dirigida).

Además, verificamos otros experimentos propuestos en la literatura con el empleo de esta pila.

Este trabajo puede considerarse globalizador dado que se integran temas correspondientes a otras ciencias, fundamentalmente de la física, ya que pueden discutirse temas como leyes de Faraday, circuitos eléctricos, funcionamiento del LED (optoelectrónica), componentes y funcionamiento de motores.

## Introducción

En los últimos años se ha reconocido que para fomentar el interés de los alumnos en los cursos básicos de química pueden emplearse en la currícula resultados de la investigación y tecnología modernas. Con este fin se ha propuesto la introducción de algunos temas como el diseño de *air-bags*, las grasas olestra, la preservación de la capa de ozono y la

\* Esta denominación se tomó de [http://www.funsci.com/fun3\\_en/electro/electro.htm](http://www.funsci.com/fun3_en/electro/electro.htm) y consideramos que es acertada, ya que es una pila, para cuya preparación se emplean limones y no son necesarias soluciones concentradas de metales altamente tóxicos ni soluciones de ácidos minerales, ni electrodos de metales muy tóxicos como Pb o Cd.

<sup>1</sup> Cátedra de Química, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata.

<sup>2</sup> Introducción a la Química, Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata.

**Recibido:** 6 de diciembre de 2003; **aceptado:** 14 de septiembre de 2004.

Este artículo fue presentado en las III Jornadas Internacionales sobre Enseñanza Universitaria de la Química, llevadas a cabo del 28 de septiembre al 1 de octubre de 2003, en La Plata, República Argentina.

construcción de diodos emisores de luz (LED). Estos contenidos no tradicionales permiten a los docentes la conexión de la química con campos interdisciplinarios como ciencia ambiental, ciencia de los materiales o biotecnología [Condren *et al.*, 2001]. Todos estos campos involucran por lo menos conocimientos de química, física y biología y, en algunos casos, de otras ciencias como geología y geoquímica.

En este trabajo proponemos la construcción de pilas del tipo *pila de limones* (o pila ecológica) para poner en funcionamiento distintos LED. Este trabajo está dirigido a cursos de ciencias integrados de nivel secundario que incluyan temas de química y física, a cursos de Trayectos Técnicos Profesionales (TTP) de nivel secundario, a cursos universitarios básicos de química para alumnos de ingeniería en los que la materia consta de una introducción a la ciencia de los materiales, o bien a cursos introductorios de química para carreras de licenciatura en química o de ingeniería química. También puede emplearse, aprovechando la interacción horizontal entre dos cursos paralelos de química y física, en los que se traten los temas involucrados (electroquímica y circuitos eléctricos).

La experiencia propuesta podrá ser utilizada en el marco de diversas metodologías, por ejemplo: puede emplearse en el marco de un pequeño proyecto de investigación para los alumnos (metodología por investigación dirigida) [Pozo *et al.*, 1998].

Además, verificamos otros experimentos propuestos en la literatura con el empleo de esta pila

### Instrucciones de construcción de la pila ecológica

Se deben amasar los limones con la mano sobre una mesa para de esta manera romper algunos de los pequeños sacos de jugo. Insertar las dos tiras metálicas (de aproximadamente 4 cm<sup>2</sup> de área, previamente lijadas y lavadas, de cobre y zinc), profundamente en los limones siendo cuidadoso de que las

tiras no queden en contacto entre sí. Con el voltímetro debe medirse el voltaje producido entre los dos electrodos. Debería ser de alrededor de 1 voltio. Este voltaje y la intensidad de corriente obtenidas son suficientes como para hacer funcionar algún dispositivo que use una pequeña pantalla de cristal líquido (por ejemplo: reloj, termómetro o calculadora). La batería que alimenta al dispositivo debe removerse y reemplazarse por el limón. Se verá que el dispositivo comienza a funcionar normalmente. Si no ocurriera esto, debe cambiarse la polaridad de la pila de limón.

### Funcionamiento de la pila ecológica

Las reacciones que ocurren son:



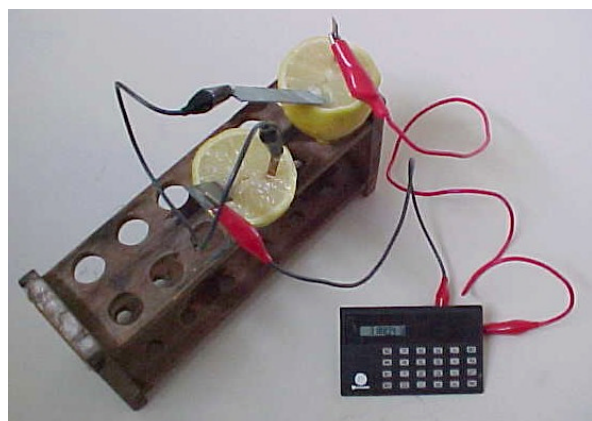
En este caso el electrolito se encuentra dentro del limón.

El origen de los iones  $\text{Cu}^{2+}$  se debe a la disolución (antes de cerrar el circuito) de parte del electrodo al ponerlo en contacto con el limón que presenta medio ácido.

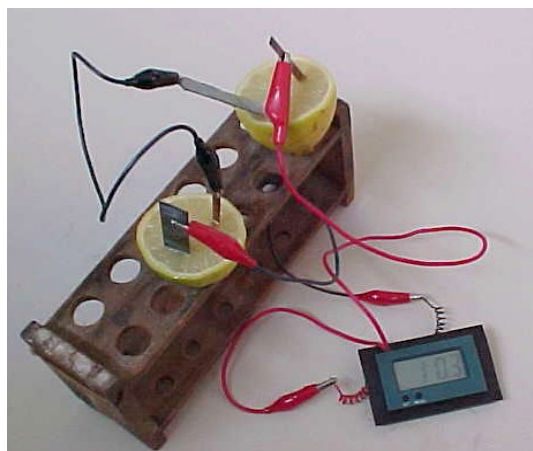
Como cualquier otra batería o celda galvánica, la pila ecológica tiene una vida limitada. Los electrodos sufren reacciones químicas que detienen el flujo de electricidad. La fuerza electromotriz disminuye y la batería detiene su funcionamiento. Se produce paralelamente hidrógeno en el electrodo de cobre y sobre el electrodo de zinc se depositan óxidos que actúan como una barrera entre el metal y el electrolito (2). A estos fenómenos se los llama electrólisis.

### Resultados obtenidos sobre el uso de la pila ecológica para el funcionamiento de diversos dispositivos

Se emplearon dos pilas armadas cada una con medio limón conectadas en serie. Las estimaciones de la FEM y de la intensidad de corriente de las pilas medidas con un multímetro



**Figura 1.** Funcionamiento de una calculadora utilizando una batería de limón (al final de la revista se muestran estas imágenes a color).



**Figura 2.** Funcionamiento de un reloj utilizando una batería de limón.

tro digital fue del orden de 2 V y 0.20 mA respectivamente.

Con esta serie de pilas fue posible poner en funcionamiento un reloj digital y una calculadora. Sin embargo, no fue posible hacer funcionar un autito de pista ni un pequeño motor. Esto se debe a que para el funcionamiento de motores la intensidad de corriente generada por las pilas ecológicas en serie no es suficiente para tal fin.

Los resultados se muestran en las figuras 1 y 2.

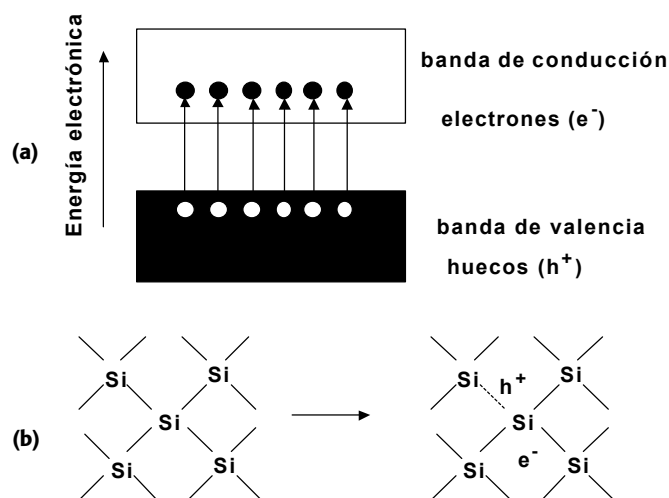
Debido a que los LED son dispositivos que emplean para su funcionamiento una tecnología moderna y que, por lo tanto, motivan a los alumnos, y además no requieren de una alta intensidad de corriente para su operación, proponemos en este trabajo hacerlos funcionar empleando como fuente de energía a las pilas ecológicas en serie. Antes de describir la experiencia, a continuación hacemos un pequeño resumen sobre el funcionamiento, las propiedades y los usos de los LED.

### ¿Cómo funcionan los LED?

Los semiconductores cristalinos usados en la construcción de LED (como todos los semiconductores) se caracterizan por su barrera energética. La barrera energética puede verse como la energía requerida para que un electrón del sólido se transforme en móvil y así contribuya a la conductividad eléctrica del material. El enlace de un electrón que queda en el semiconductor también es móvil y puede verse como una carga positiva (hueco). Este enlace es móvil porque un electrón de una unión vecina de dos electrones puede migrar al enlace de un electrón ("llenándolo") y así se crea un nuevo enlace de un electrón moviendo el hueco (figura 3).

Por dopado del Si con elementos del grupo 15 o VA o elementos del grupo 13 o IIIA pueden conseguirse semiconductores del tipo n (rico en electrones) o del tipo p (rico en huecos), respectivamente. Cuando se ponen en contacto un semiconductor n con otro p, se obtiene una junta p-n, caracterizada por su voltaje interior. Los electrones fluirán desde el semiconductor n (con mayor concentración de electrones) al p (con menor concentración de electrones) hasta que se igualen los potenciales electroquímicos de los dos materiales. La transferencia de carga en la junta deja una pequeña capa de carga neta positiva del lado del material n y una carga negativa neta del lado del material p. La separación de cargas genera una diferencia de energía potencial interna y así aparece un voltaje en la junta.

Para el funcionamiento del LED debe aplicarse una diferencia de potencial entre los dos materiales que forman la junta p-n. Si el voltaje externo aplicado es negativo del lado del material n con respecto al aplicado del lado del material p, se habla de la polarización directa (figura 4), y puede circular sin problemas la corriente eléctrica a través de la junta. Así, los electrones alcanzan el lado del material



**Figura 3.** (a) La estructura de bandas de un semiconductor empleando una descripción de enlaces deslocalizados. Los electrones (círculos negros) pueden ser excitados de la banda de valencia por luz o calor. Los huecos ( $h^+$ ) quedan en la banda de valencia.

(b): La estructura de bandas de un semiconductor empleando una descripción de enlaces localizados. Se tomó como ejemplo el caso del silicio. La absorción de luz o calor produce huecos y electrones.

p y los huecos al material n, recombinándose con las especies mayoritarias de cada lado y generando luminiscencia. Los colores de la luminiscencia se controlan variando los materiales que forman la junta.

### Efecto de la ubicación de los elementos en la tabla periódica sobre las propiedades de los LED

El color de la luz emitida por el LED puede "sintonizarse" variando la composición del semiconductor. Como se sabe, el descenso en un grupo de la tabla periódica implica mayores distancias internucleares. Al aumentar la distancia internuclear, los electrones de enlace son menos retenidos y su más fácil ionización corresponde a una barrera energética menor. Por ejemplo: para los semiconductores binarios GaP, GaAs y GaSb las barreras energéticas son respectivamente 2,3; 1,4 y 0,7 eV. Las distancias internucleares son casi idénticas en AlAs y GaAs. Sin embargo, la mayor barrera energética para el AlAs (2,1 eV) refleja la mayor polaridad y fuerza del enlace Al-As comparado con el Ga-As.

Puede conseguirse una mayor variación de la barrera energética mediante aleaciones ternarias del tipo  $Al_xGa_{1-x}As$ . En este caso la barrera energética puede variarse entre 1,4 y 2,1 eV cuando x varía de 0 a 1.

### Algunos usos de los LED

Comparados con las lámparas de bulbo incandescente, los LED son más pequeños, duran más, tienen mayor eficiencia

energética, son más robustos, generan menos calor, son más direccionales, y tienen tiempos de encendido más cortos. También superan en monocromaticidad a los bulbos incandescentes eficientemente filtrados. Por todas estas razones son aptos (entre otros) para los siguientes usos:

- Los monitores de televisión y computadoras usan combinaciones de LED rojos, verdes y azules para crear millones de colores.
- El uso en luces exteriores de automóviles, autobuses y camiones permite obtener mayor potencia eléctrica para otras aplicaciones en el vehículo y, en general duran durante toda la vida útil del vehículo.
- La gran variedad de colores de los LED permite su uso en luces de tableros de vehículos. El tamaño más reducido de los LED comparados con los bulbos incandescentes permite obtener mayor densidad de información en los tableros.
- Por razones económicas y de seguridad se usa en semáforos. Para este uso se necesitan por ejemplo alrededor de 100 LED para la luz roja de un semáforo. Esto implica que pueden fallar muchos de los LED y el semáforo seguir operando.
- Se emplean además en luces interiores de indicación de salida. Los LED que funcionan con energía solar se usan en carteles de señalización de construcción de rutas.

**Resultados obtenidos sobre el uso de la pila ecológica para el funcionamiento del LED**

Inicialmente se intentó hacer funcionar varios LED de dis-

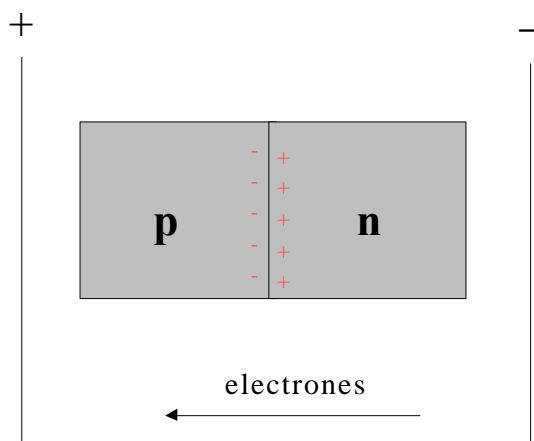
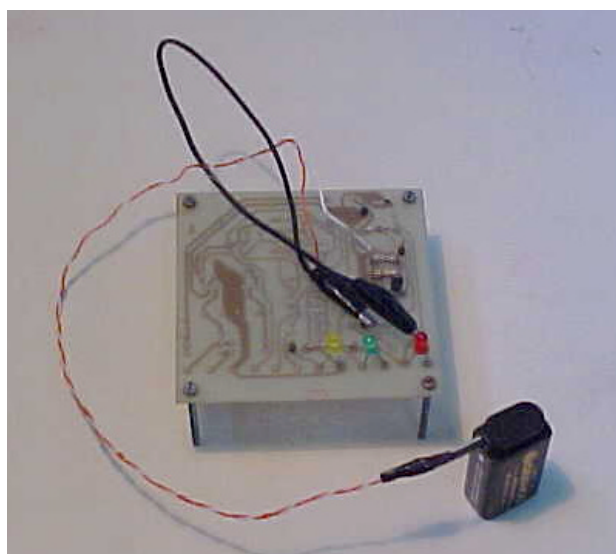
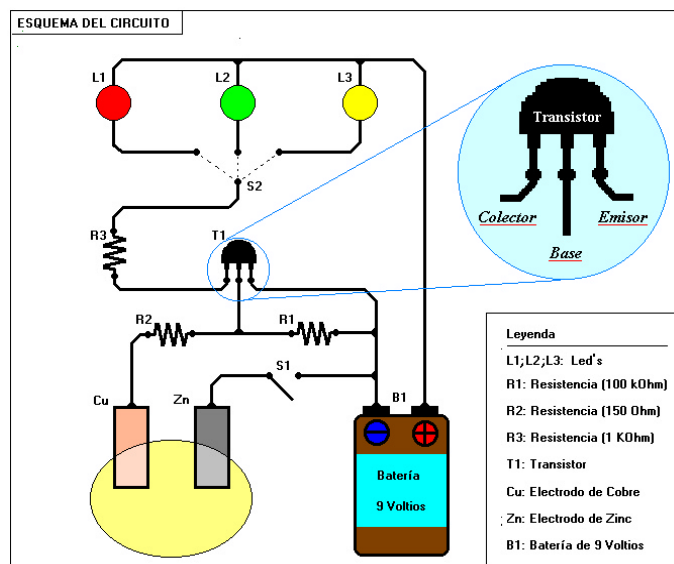


Figura 4. Cargas que se forman sobre la junta p-n y aplicación de una polarización directa.

tintos colores (azules, verdes, amarillos y rojos) mediante cuatro pilas ecológicas en serie como las descritas más arriba (con una FEM de 3 V e intensidad de corriente de alrededor de 0,25 mA, en este caso). Como la intensidad de corriente generada por las pilas no fue suficiente, se propuso la construcción del circuito eléctrico que se describe en las figura 5 (a) y (b). Para su construcción se utilizó como componente principal un transistor NPN (BC 547) que actúa como amplificador, además de tres LED, una fuente auxiliar (batería 9V) y tres resistencias, las cuales cumplen el papel de limitadoras de corriente.

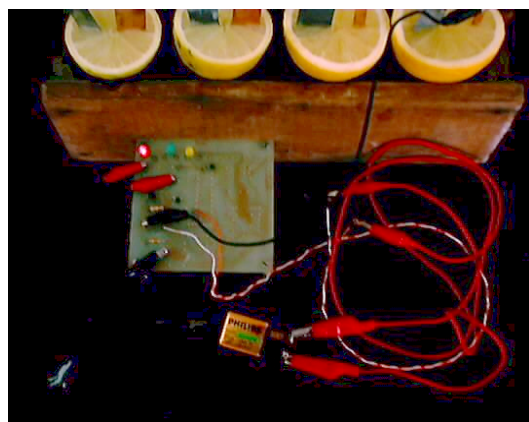


(a)

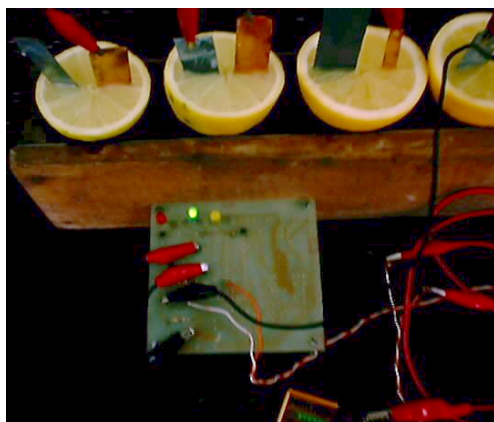


(b)

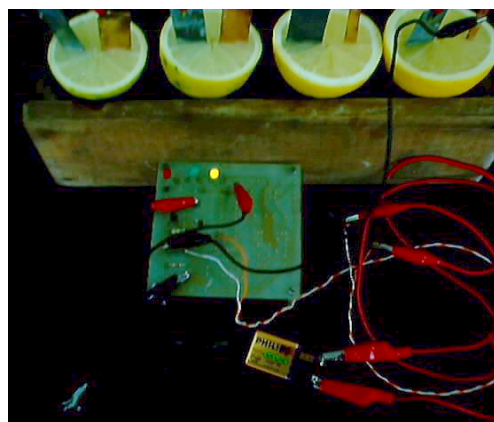
Figura 5. (a): Foto del circuito auxiliar. (b): Esquema del circuito auxiliar (al final de la revista se muestran estas imágenes a color).



(a)



(b)



(c)

**Figura 6.** (a) Foto que muestra el encendido del LED rojo. (b) Foto que muestra el encendido del LED verde. (c) Foto que muestra el encendido del LED amarillo (al final de la revista se muestran estas imágenes a color).

El transistor se encuentra en “estado de saturación”, es decir, se comporta como un “interruptor” en presencia de una corriente en la *base*, permitiendo el paso de la corriente desde el *emisor* hacia el *colector*. Esto es posible ya que la característica principal de un transistor es que mediante pequeñas corrientes le es posible controlar valores mayores. En otras palabras, cuando la corriente proveniente de nuestra pila es aplicada sobre la base del transistor, éste cerrará el circuito, permitiendo la circulación de la corriente de la batería a través del LED, haciendo que éste encienda.

Los resultados obtenidos (figura 6) indican que todos los LED chequeados, excepto los azules (para los que se requiere una mayor diferencia de potencial para su funcionamiento, recordar que a menor longitud de onda mayor es la energía de la radiación electromagnética) funcionaron cuando se empleó el circuito mostrado en las figura 5 (a) y (b).

### Conclusiones

- En este trabajo probamos el uso de series de pilas ecológicas para el funcionamiento de distintos dispositivos. Si bien el voltaje generado fue alto (del orden de 3V) fue posible emplearlas únicamente para hacer funcionar dispositivos que requieren baja intensidad de corriente como relojes y calculadoras.
- Además en el trabajo propusimos un circuito eléctrico que puede usarse para hacer funcionar LED rojos, verdes y amarillos y que emplea como fuente de energía la combinación de una batería de 9 V con una serie de pilas ecológicas. ■

### Referencias

- Andrade, E.M., Dame un limón para prender la calculadora. La pila ecológica, consultada por última vez en agosto 31, 2004, Experimento 7 parte b en la URL <http://www.oaq.uba.ar>.
- Carboni, G. 1998, Experiments in Electrochemistry, translated by G.L. Stuart, consultada por última vez en agosto 31, 2004, en la URL [http://www.funsci.com/fun3\\_en/electro/electro.htm#2](http://www.funsci.com/fun3_en/electro/electro.htm#2).
- Condren, S.M.; Lisensky, G.C.; Ellis, A.B.; Nordell, K.J.; Kuech, T.F., Stockman, S.A., LED: new lamps for old and a paradigm for ongoing curriculum modernization, *J. Chem. Ed.*, 78, 1033-1040, 2001.
- Ellis, A.B., Geselbracht, M.J., Johnson, B.J., Lisensky, G.C., Robinson, W.R. *Teaching General Chemistry. A Materials Science Companion*, American Chemical Society, Washington, D.C, USA, 1993.
- Pozo, J.I., Gómez Crespo, M.A., *Aprender y Enseñar Ciencia. Del Conocimiento Cotidiano al Conocimiento Científico*, Ediciones Morata, Madrid, 1998.