

## INVESTIGACIONES GUIADAS Y MICROCONTROLADORES EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA EN LA UNIVERSIDAD Y EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA

Iñigo Lopez-Gazpio<sup>1</sup>, Josu Lopez-Gazpio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dpto. Tecnologías Informáticas, Electrónicas y de la Com., Univ. de Deusto, Donostia

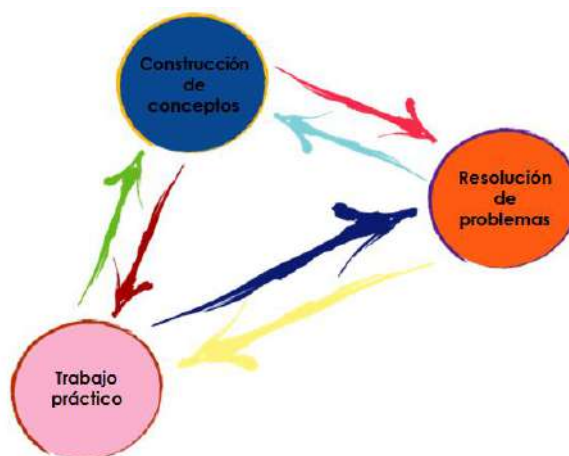
<sup>2</sup>Dpto. de Química, UEU, Eibar; CPEIPS Larramendi Ikastola HLBHIP, Mungia

### 1. Las investigaciones guiadas como herramienta educativa

En el escenario de los nuevos modelos de enseñanza-aprendizaje cooperativos y dinámicos centrados en el alumno, uno de los retos más importantes resulta ser la adecuación de las prácticas de laboratorio al aprendizaje basado en competencias. Esta metodología docente, tiene como objetivo que el alumnado se convierta en protagonista de su propio aprendizaje fomentando dicho proceso a través de metodologías activas y de cooperación entre el alumnado, modelo en el que el profesorado actúa como facilitador de los aprendizajes. Este proceso contrasta drásticamente con otros métodos docentes anacrónicos basados en la pasividad errática (modelo *laissez faire*) o en la imposición coercitiva ausente de diálogo (modelo autoritario).

Los experimentos de laboratorio basados en investigaciones guiadas (GILEs, por sus siglas en inglés) son una herramienta crucial para dar al alumnado la oportunidad de experimentar los retos habituales con los que se encuentran los analistas en un laboratorio de investigación. La enseñanza-aprendizaje de la Ciencia no tiene sentido sin el uso práctico del laboratorio, por tanto, los experimentos de laboratorio basados en la investigación guiada se configuran como una excelente propuesta para el desarrollo curricular de las enseñanzas universitarias o en la Educación Secundaria. Las investigaciones guiadas mejoran de forma considerable la capacidad de los alumnos para enfrentarse a problemas reales, además de estimular el pensamiento crítico, de tal modo que ofrecen numerosas ventajas frente a las prácticas de laboratorio tradicionales (llamadas, prácticas-receta), basadas principalmente en el seguimiento estricto de un guion pormenorizado con todos los detalles referentes a los distintos experimentos que se realizarán en el laboratorio. Desde el punto de vista didáctico, son las investigaciones guiadas, y no las prácticas-receta habituales, las que permiten un aprendizaje completo y efectivo de los contenidos procedimentales, actitudinales y conceptuales de la Ciencia.

En la presente comunicación, se analizarán las diferencias más importantes entre las prácticas de laboratorio basadas en la investigación guiada y las prácticas-receta tradicionales. Entre estas ventajas, cabe destacar el trabajo en equipo, la adquisición de un verdadero pensamiento crítico y la capacidad de encontrar soluciones a los problemas planteados. También se tratarán las principales limitaciones de los GILEs (consumo de tiempo, aumento del coste, etc.) y algunos de los retos que el docente debe afrontar para adaptar las prácticas tradicionales al formato basado en la investigación guiada. A pesar de las posibles limitaciones, los GILEs son cruciales para dar al alumnado la oportunidad de experimentar los retos habituales con los que se encuentran los analistas en un laboratorio de investigación (Fig. 1).



**Figura 1.** Las investigaciones guiadas combinan la adquisición/construcción de conceptos, la resolución de problemas reales y el trabajo práctico.

La actividad habitual del científico es la experimentación, por tanto, esa ha de ser la principal herramienta para la enseñanza de la Ciencia. Según se recoge en la bibliografía, las prácticas de laboratorio se pueden clasificar en base a su complejidad e idoneidad didáctica en cuatro grandes grupos: 1) Experiencias (mera realización de un ensayo práctico); 2) experimentos ilustrativos (experiencias acompañadas con algún tipo de explicación por parte del docente); 3) actividades prácticas (prácticas-receta

habituales); y 4) GILEs o investigaciones guiadas. Por tanto, las investigaciones guiadas se sitúan en el nivel superior y sirven para dar solución a un problema práctico o teórico, pero con una base real o similar a la real. En ese sentido, las investigaciones guiadas parten del planteamiento de un problema inicial en el que falta información. Deben existir múltiples vías para dar solución al problema inicial y además, las características del problema deben ir cambiando según se obtiene nueva información. Otro punto importante, ausente en las prácticas-receta, es que el estudiante desconoce si está siguiendo la estrategia adecuada, lo cual es habitual en un verdadero trabajo de investigación.

### 2. Uso de microcontroladores Arduino en la enseñanza-aprendizaje de la Química

En los últimos años (2013-2018) han ido apareciendo de forma puntual, pero que van en aumento, diversas propuestas para realizar experimentos de forma creativa y económica tanto a nivel universitario como en la Educación Secundaria. En ese sentido, los microprocesadores Arduino (Fig. 2) son cada vez más utilizados en la enseñanza de la Química en general, pero también existe un nicho interesante en la enseñanza de la Química Analítica.

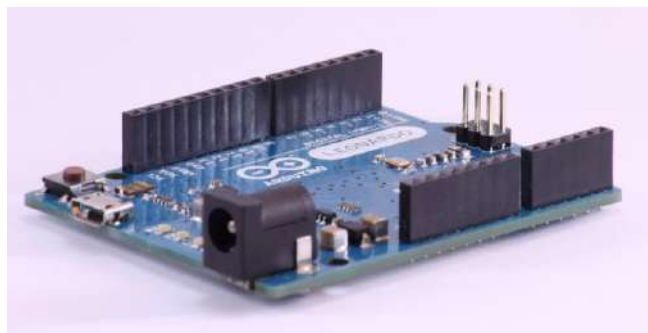


Figura 2. Microprocesador Arduino.

Recientemente se ha popularizado el interés por desarrollar herramientas creativas y económicas para la enseñanza de la Química, tanto a nivel universitario como preuniversitario. Una de las áreas más interesantes y de utilidad en Química General es el desarrollo de instrumentos electrónicos, sobre todo teniendo en cuenta el impacto que tiene la electrónica en el alumnado actual. Los estudiantes usan continuamente diversas herramientas, juguetes y *gadgets* electrónicos y están familiarizados con el uso de videojuegos, computadoras y *smartphones*.

Los circuitos integrados programables, conocidos como microcontroladores, ofrecen numerosas y muy variadas posibilidades para la automatización del laboratorio y su uso merece ser estudiado en el currículo de Química. Existen distintos y muy diversos proyectos relacionados con la Química publicados recientemente. En lo que respecta a la Química Analítica, se describe la construcción de instrumentos para medir parámetros analíticos como pueden ser el pH o la absorbancia. Además, en la bibliografía se describe la construcción de instrumentos para medir la calidad del aire, buretas electrónicas y fotómetros. Todo apunta a que el número de proyectos publicados en revistas indexadas va a ir aumentando gradualmente, dados los múltiples beneficios educativos que aportan este tipo de proyectos.

### 3. Construcción de un calorímetro electrónico

En el presente trabajo, presentado en la Jornada de Innovación Docente de la SEQA, se describe el proceso de adaptación de las prácticas tradicionales del laboratorio de Química Analítica al modelo de investigaciones guiadas proponiendo la construcción de la instrumentación necesaria para desarrollar diversos experimentos. Para ello se describe un caso particular desarrollado y puesto en práctica: la construcción de un calorímetro basado en el microprocesador Arduino (Fig. 3).

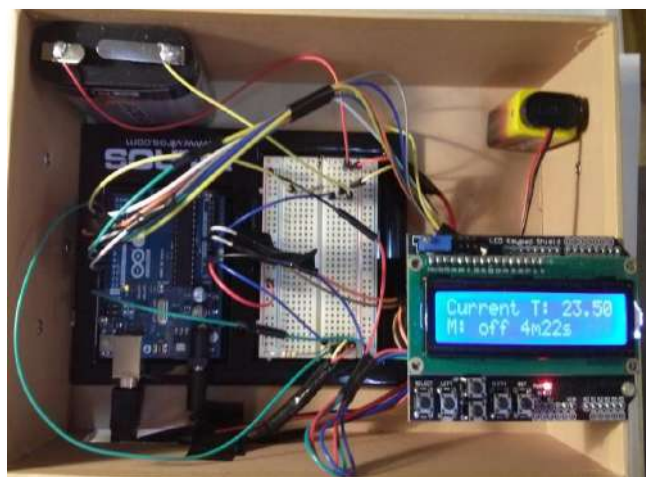


Figura 3. Microprocesador Arduino en el calorímetro electrónico.

Este instrumento se ha utilizado para determinar valores termodinámicos y analíticos como pueden ser entalpías de neutralización, estequiometrías de neutralización y determinación de la concentración de un ácido de concentración desconocida, entre otros. Para todo ello se construyó un instrumento electrónico portátil basado en el microcontrolador Arduino.



**Figura 4.** Calorímetro electrónico en su conjunto. A la izquierda se observa la parte electrónica con el microprocesador y a la derecha el recipiente para los ensayos.

Este instrumento tiene la utilidad de mezclar líquidos y de controlar la temperatura de la mezcla a lo largo del tiempo. El proyecto se basa en un conjunto de módulos Arduino, tales como: un sensor de temperatura sumergible (que permite leer la temperatura con precisión decimal), una reconstrucción de un vaporizador de leche (del cual se extrajo el motor/agitador, de 4.5 volt) que permite la correcta agitación de los líquidos dentro de un recipiente aislado térmicamente y una pantalla de cristal líquido (LCD), usada como interfaz de usuario para recoger los resultados de los experimentos y para controlar la activación del motor. Cabe destacar que todas las partes del instrumento construido fueron de fácil obtención.



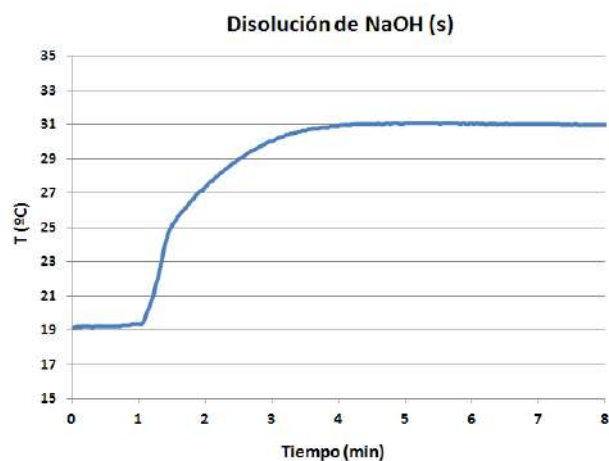
**Figura 5.** Detalle del recipiente térmico. También se observa el termómetro y el motor/agitador.

#### 4. Experimentos realizados

En cuanto a los experimentos realizados con el calorímetro electrónico, en una primera fase de exploración se

determinó la curva de enfriamiento del calorímetro. Para ello se añadieron 700 g de agua a 80 °C aprox. y se midió un enfriamiento de 0.30 °C/min. En segundo lugar se obtuvo la constante calorimétrica, que sirvió para comparar la calidad del calorímetro con otros similares descritos en la bibliografía. En este caso, el resultado fue  $C = 270,93 \text{ J/K}$  ( $m = 700 \text{ g}$ ).

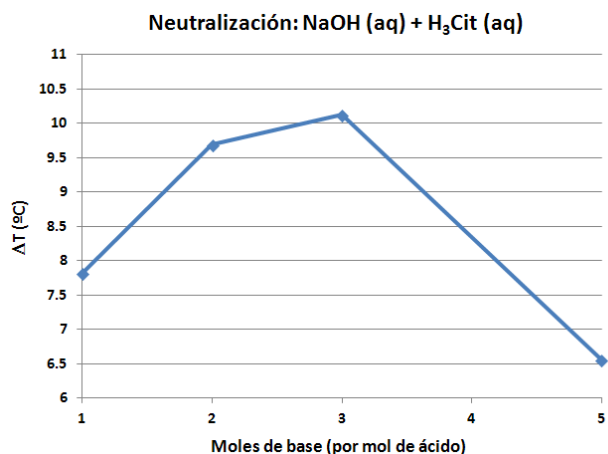
En la fase de desarrollo, se determinaron diversas entalpías de disolución mezclando una cantidad constante de agua con distintos sólidos (hidróxido de sodio, hidróxido de calcio, etc.). A partir de los datos obtenidos y de la comparación del resultado experimental con los valores teóricos se evaluó de forma positiva el resultado (Fig. 6).



**Figura 6.** Curva obtenida tras la disolución de NaOH en agua. A partir de la diferencia de temperatura, y teniendo en cuenta la constante calorimétrica, se puede calcular la entalpía de disolución.

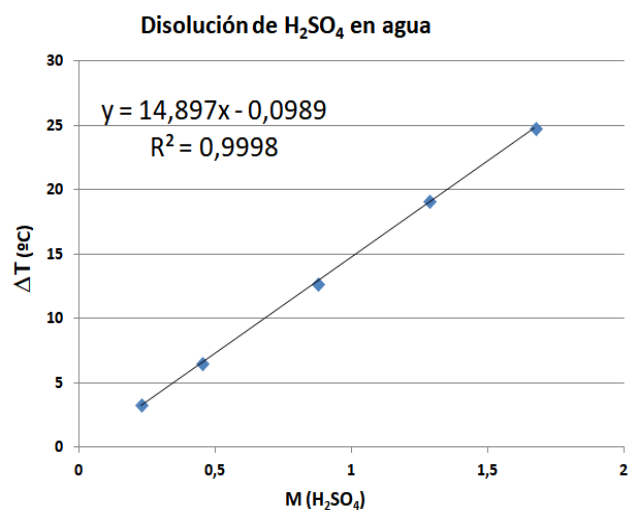
En la fase de desarrollo se obtuvieron distintas entalpías de disolución mezclando 600 mL de agua y 30 g de distintos sólidos, como por ejemplo hidróxido de sodio o hidróxido de calcio. Posteriormente se determinó la entalpía de neutralización de una serie de reacciones ácido-base. Para ello se mezclaron NaOH (aq.) y HCl (aq.), entre otros casos. Tanto para las entalpías de disolución como para las de neutralización, los valores experimentales fueron cercanos a los teóricos.

En segundo lugar, se utilizó el calorímetro electrónico para determinar la estequiometría de neutralización de distintos ácidos y bases. Para ello se añadieron distintos volúmenes de ácido (p. ej. ácido cítrico) y de base (p. ej. NaOH). A partir de la medición del calor desprendido, y elaborando una gráfica como la que puede verse en la figura 7, se puede obtener la estequiometría de neutralización de forma experimental.



**Figura 7.** Representación del cambio de temperatura obtenido tras añadir distintas proporciones de ácido y de base. El cambio de temperatura máximo indica la estequiometría de neutralización. En este caso, se observa la reacción entre NaOH y ácido cítrico.

En la fase de evaluación se estudió la entalpía de descomposición del agua oxigenada catalizada por el nitrato de hierro. Para ello se mezclaron 500 mL de agua oxigenada al 4,9% y 50 mL de nitrato de hierro 1 M en el calorímetro. Una vez producida la reacción de descomposición, se determinó la entalpía de descomposición con un error relativo del 6,4%.



**Figura 8.** Representación del cambio de temperatura frente a la concentración de ácido sulfúrico de la mezcla.

Por último, y más interesante desde el punto de vista analítico, se determinó la concentración de ácido sulfúrico en una muestra desconocida utilizando el calorímetro electrónico construido por los alumnos. Para ello se añadieron distintos volúmenes de ácido de concentración conocida y se añadió agua, midiendo el cambio de temperatura. Posteriormente se representó el cambio de temperatura frente a la concentración de ácido,

obteniendo la recta de calibrado que se observa en la figura 8. Finalmente, se determinó la concentración de ácido de una muestra problema a partir de la curva obtenida, tal y como es habitual en los laboratorios de Química Analítica.

## 5. Conclusiones

Como ha quedado demostrado el uso de los microprocesadores Arduino ofrece múltiples opciones en la docencia de la Química y de la Ciencia en general. Uno de los puntos clave es el fomento del trabajo práctico de laboratorio a través de investigaciones guiadas y no a través de las prácticas-receta habituales. De ese modo, los instrumentos de laboratorio dejan de ser "cajas negras" para los estudiantes y entienden la importancia del trabajo experimental. Así, desde la interpretación, reflexión y mejora de los resultados obtenidos, el alumnado consigue construir el conocimiento científico.

En el futuro se pretende continuar con esta línea de investigación docente ampliando el uso del instrumento desarrollado y planteando nuevos retos a los estudiantes de Química de nivel universitario y preuniversitario. Este proyecto es un claro ejemplo de cómo construir un instrumento electrónico utilizando herramientas relativamente baratas y accesibles. Además el calorímetro portátil puede ser utilizado para cuantificar parámetros químicos de interés, así como para la enseñanza-aprendizaje de conceptos químicos de cierta complejidad. También resulta interesante destacar que a través de este tipo de proyectos el alumnado puede tener un primer contacto con el desarrollo de equipos electrónicos.

## 6. Referencias

- S.O. Fakayode, J. Chem. Ed., 92(1) (2015) 157.
- J.J. Wang, J.R. Rodríguez, E.J. Maxwell, W.R. Algar, J. Chem. Ed., 93(1) (2016) 166.
- T. Cao, Q. Zhang, J. E. Thompson, J. Chem. Ed., 92 (2015) 106.
- R. L. McClain, J. Chem. Ed., 91 (2014) 747.
- W.G. Santos, E.T.G. Cavalheiro, J, Chem. Ed., 92(10) (2015) 1709.
- N.J. Papadopoulos, A. Jannakoudakis, J. Chem. Ed., 93 (2016) 1323.