

APRENDIZAJE SOBRE DISOLUCIONES REGULADORAS DE pH MEDIANTE INDAGACIÓN GUIADA UTILIZANDO SENSORES

LEARNING ON BUFFER SOLUTIONS BY HIGH SCHOOL STUDENTS THROUGH INQUIRY GUIDED AND SENSORS WITH MICROCOMPUTER BASED LABORATORY EQUIPMENT

Montserrat Tortosa Moreno
INS Ferran Casablanques (Sabadell). *Universitat Autònoma de Barcelona*
montserrat.tortosa@uab.cat

RESUMEN: En este trabajo se describe el diseño e implementación de una actividad de indagación guiada, contextualizada en la salud, para enseñar las disoluciones reguladoras de pH a alumnos de bachillerato, y se analiza el aprendizaje de los estudiantes. Para la toma de datos experimentales, los alumnos utilizaron sensores de pH y equipos de captación automática de datos. Los análisis revelan que la mayoría de participantes identificaron los conceptos básicos de la actividad, distinguiéndolos de los menos relevantes, a la par que han sido capaces claramente de dar prioridad a los conceptos trabajados frente al método de obtención de datos. Los resultados obtenidos sugieren que es una buena opción que la primera aproximación al estudio de las disoluciones reguladoras sea cualitativa, antes de abordarlas cuantitativamente. También se ha evidenciado que el manejo y la configuración del equipo con sensores no supone una dificultad añadida para los estudiantes que lo utilizan por primera vez.

PALABRAS CLAVE: práctica de química, indagación, experiencias asistidas por ordenador EXAO, disolución tampón o reguladora de pH, enseñanza secundaria y bachillerato.

ABSTRACT: The design and implementation of an inquiry based laboratory activity to introduce buffer solutions to high school pupils is presented, and the learning of students is analysed. The context of the activity is human health and in it students use pH sensors and multicomputer based laboratory equipment to obtain data. Analysis of learners' productions reveals that most of the participants have identified the core concepts of the activity and that they have clearly given higher priority to the concepts than to the methodology used to obtain data. The results obtained suggest that it is a good option to introduce buffer solutions to students in a qualitative way, before working them quantitatively. We have observed that to have to use and to configure the sensors equipment does not represent a difficulty for students the first time they do it.

KEYWORDS: chemistry laboratory activity, inquiry, multicomputer based laboratory MBL, buffer solution, secondary and high school.

Fecha de recepción: julio 2011 • Aceptado: marzo 2012

Tortosa, M. (2013). Aprendizaje sobre disoluciones reguladoras de pH mediante indagación guiada utilizando sensores. *Enseñanza de las Ciencias*, 31 (1), pp. 189-211

INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

En la sociedad actual se producen numerosos descubrimientos y avances científico-tecnológicos que tienen una importante repercusión social. Paradójicamente, al mismo tiempo el interés por las disciplinas científicas y su estudio ha descendido en las sociedades occidentales y los estudiantes perciben la química como una disciplina alejada de su entorno cotidiano. Una sociedad basada en avances científicos, para ser realmente democrática en la toma de decisiones, necesita una ciudadanía competente científicamente. Los ciudadanos debemos conocer los principales modelos científicos y sus limitaciones para estar capacitados y poder aplicar el conocimiento adquirido en una situación determinada a nuevos contextos; así seremos más capaces de tomar decisiones fundamentadas ante los nuevos cambios que se nos presenten. Importantes estudios globales acerca de los estudiantes en distintas partes del mundo consideran relevante que podamos asociar los contenidos científicos a contextos personales, sociales y globales para tomar decisiones fundamentadas en situaciones concretas (PISA, 2003; Eurydice, 2011).

La decisión de llevar a las aulas prácticas a docentes que contribuyan a la adquisición de competencias en contextos reales queda reflejada en el currículo de química de segundo de bachillerato en Cataluña (DOGC 2008), que recomienda al profesorado una enseñanza contextualizada de la química y orientada sobre nuevas maneras de tomar datos en el laboratorio en determinadas circunstancias. Así, menciona literalmente: «... es muy recomendable utilizar sistemas de adquisición de datos con sensores en experiencias en las que es importante ver la evolución de una propiedad del sistema con el tiempo». El mismo documento señala entre los contenidos de esta materia: «Observación de la capacidad reguladora del pH de ciertas soluciones. Concepto cualitativo de disolución reguladora de pH. Investigación experimental de la capacidad reguladora del pH del agua mineral carbónica. Valoración de la importancia de la disolución reguladora $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ en sistemas como la sangre y los océanos».

Las investigaciones en didáctica de las ciencias y de la química demandan propuestas concretas de enseñanza de contenidos con reflexiones que ayuden a convertirlos en datos relevantes para las buenas prácticas (Bennett, 2005; Galagovski, 2007), y este trabajo pretende contribuir a ello.

DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE DE LAS DISOLUCIONES REGULADORAS

La comprensión de las disoluciones reguladoras de pH o disoluciones tampón no es en absoluto trivial para los estudiantes de bachillerato ni de cursos superiores. Desde el punto de vista procedimental, se ha visto (Orgill y Sutherland, 2008) que muchos estudiantes universitarios, si bien son capaces de expresar oralmente o por escrito las características de una disolución reguladora, se muestran incapaces para preparar una en el laboratorio o para comprobar experimentalmente su capacidad reguladora; estos autores sugieren que, para entenderlas, los estudiantes deben primero comprender otros conceptos químicos fundamentales como las disoluciones, la estequiometría y el equilibrio químico, desde las perspectivas macroscópica, microscópica y simbólica, y después han de ser capaces de integrar estos conocimientos en el nuevo concepto tampón.

De los conceptos previos necesarios para entender las disoluciones reguladoras, merece especial atención por su complejidad el de equilibrio químico. Abundantes trabajos muestran que los estudiantes no comprenden la relación entre las características macroscópicas y microscópicas de la reacción (Garnett et al., 1995; Stavridou y Solomonidou, 2000; Moncaleano et al., 2003). También se constata que una excesiva simplificación de este en los libros de texto puede inducir a errores en su aprendizaje (Pedrosa y Dias, 2000; Quílez, 2006). En el caso del desplazamiento del estado de equilibrio, la situación parece agravarse según los resultados de estudios que detectan debilidades en su interpretación, tanto por parte de estudiantes como de algunos profesores de secundaria en formación y en activo

(Quílez, 2004; Cheung, 2009). Numerosos estudios (Jiménez et al., 2003; Demircioglu et al., 2005; Quílez, 2006; Bermúdez y de Longhi, 2011) detectan que algunos errores y concepciones alternativas de los estudiantes acerca del equilibrio químico están relacionados con la aproximación didáctica utilizada en el proceso de aprendizaje.

Para la comprensión del equilibrio químico y las dificultades de su aprendizaje, se sugieren diversas aproximaciones: un enfoque didáctico que logre que los alumnos comprendan cualitativa y cuantitativamente el concepto y vean su aplicabilidad para resolver problemas de la vida cotidiana (Moncaleano et al., 2003); el uso de analogías para ayudar a los estudiantes a entender este concepto (Raviolo y Garriz, 2008); o que los aprendices estudien cualitativamente el desplazamiento del estado de equilibrio antes de adentrarse en su estudio cuantitativo (Ganaras et al., 2008).

TRABAJO EN EL LABORATORIO, CONTEXTUALIZACIÓN Y APRENDIZAJE

Las investigaciones en didáctica no han encontrado relaciones simples entre las experiencias de laboratorio y el aprendizaje de los estudiantes (Hofstein y Lunetta, 1982 y 2003). Aunque se ha demostrado que los métodos clásicos no resuelven las lagunas de los estudiantes, no hay una única opinión acerca de cómo deben ser las clases o cómo llevar los resultados de investigación en enseñanza de las ciencias a los laboratorios escolares. Existen datos suficientes (Hofstein, 2003) que sugieren que la instrucción en el laboratorio es un medio efectivo y eficiente para alcanzar algunos de los objetivos de enseñar y aprender ciencia.

El aprendizaje por indagación (o IBSE, *Inquiry Based Science Education*) ha demostrado su eficiencia tanto en los niveles de primaria como en los de secundaria, ya que incrementa el interés del alumnado y, al mismo tiempo, estimula la motivación del profesorado (Hofstein, 2003; Fortus et al., 2006; Rocard et al., 2007; Galagovski, 2007; Blonder et al., 2008). El aprendizaje significativo tiene lugar cuando los estudiantes no solo recuerdan, sino que dan sentido a lo que han aprendido y son capaces de aplicarlo (Anderson y Krathwohl, 2001). Cuando se implementan adecuadamente, los laboratorios basados en la indagación tienen el potencial de mejorar el aprendizaje significativo en los estudiantes (Misner y Krauss, 2005). Asimismo, se ha verificado que, en actividades de indagación guiada, los estudiantes mejoran más en sus explicaciones científicas si se les proporcionan ayudas específicas para un contexto en lugar de ayudas genéricas (McNeill y Krajcik, 2006).

Parchmann et al. (2006) apuntan que, para que se produzca aprendizaje significativo, deben darse tres características: *a)* «un contexto motivador»: el hecho de que los estudiantes puedan relacionar el contexto con sus experiencias y sus vidas puede motivarlos para involucrarse en el aprendizaje; *b)* una «necesidad de conocer» asequible: los alumnos deben entender qué hacen y por qué hacen cada uno de los pasos, entender el diseño de la actividad, y *c)* un «lo que yo hago y pienso importa»: los estudiantes deben sentir que sus aportaciones son importantes, que lo que van haciendo, pensando, expresando o diseñando mientras participan en la actividad es relevante. Para estrechar los lazos entre los objetivos del aprendizaje por parte del docente y los aprendizajes reales alcanzados, distintos autores (Izquierdo et al., 1999; Westbroek et al., 2005) están de acuerdo en que es relevante que los estudiantes sepan algo acerca del contexto o estén emocionalmente implicados en él, aunque en principio no conozcan exactamente los procesos químicos implicados en la secuencia didáctica.

Numerosos programas CTS (ciencia-tecnología-sociedad) han resultado útiles para salvar el vacío entre las aulas y las vivencias de los estudiantes. Los aprendizajes de la ciencia en contexto tienen muchos puntos en común con la aproximación CTS, también favorecen la alfabetización científica y los conocimientos y las habilidades que los jóvenes necesitan para pensar y actuar adecuadamente en temas científicos que puedan afectar a sus vidas y las de los demás (Bennett, 2005; Izquierdo et al.,

2007; Tortosa y Pintó, 2010). La dimensión CTS en el caso de ácidos y bases en secundaria ha sido estudiada (Jiménez et al., 2000; Parchmann et al., 2006), y se está de acuerdo en que las aproximaciones de la ciencia en contexto y CTS provocan actitudes más positivas hacia la ciencia escolar que los cursos más convencionales.

Con el objetivo de abarcar a la diversidad de estudiantes en las materias de ciencias, hace poco más de una década que se sugirieron actividades basadas en la indagación en ambientes interactivos asistidos por ordenador (Thornton, 1999). Los beneficios de utilizar tareas basadas en la indagación en la química de secundaria como una manera de mejorar el aprendizaje significativo han sido demostradas particularmente con el uso de tecnología EXAO o MBL (experiencias asistidas por ordenador o *microcomputer based laboratory*) y sensores (Pintó et al., 2004; Aksela, 2005; Tortosa et al., 2007, 2008; Espinoza y Quarless, 2010).

USO DE EQUIPOS DE ADQUISICIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS Y APRENDIZAJE DE CONCEPTOS CIENTÍFICOS

En los últimos tiempos estamos asistiendo a una acelerada implementación de diversas Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en muchos ámbitos de nuestras vidas. En el terreno educativo hay un consenso en que su uso motiva al alumnado y la motivación es un pilar fundamental para querer aprender más. El uso de equipos de captación automática de datos recibe distintos nombres, como experimentos en tiempo real, *datalogger*, equipos EXAO (enseñanza asistida por ordenador) o MBL. Estos equipos constan de uno o varios sensores conectados a una interfaz que, a su vez, está conectada a un ordenador que, con el software adecuado, permite ver los datos experimentales en pantalla en tiempo real. Los sensores transforman una medida física en una tensión eléctrica, la interfaz actúa de transformador analógico-digital (A/D) y los programas informáticos adecuados permiten, por un lado, configurar la toma de muestras (como la frecuencia de toma de datos y el tiempo total) y, por otro, observar las tablas de datos y los gráficos que se van generando en tiempo real.



Figura 1. Esquema de un equipo de captación automática de datos.

El uso de equipos de captación automática de datos recibe distintos nombres, como experimentos en tiempo real, *datalogger*, equipos EXAO (enseñanza asistida por ordenador) o MBL (multicomputer based laboratory) ha sido fuertemente recomendado por muchos educadores de la ciencia que adoptan una aproximación constructivista de la enseñanza (Bernhard, 2003; Ambrose, 2004; Pintó et al., 2004; Russell et al., 2004; Sassi et al., 2005). Sin embargo, hay estudios (Atar, 2002; Aksela, 2005) que sugieren que esta tecnología puede ser percibida como una dificultad añadida por algunos alumnos que quedan sobrepasados por la inmediatez de los datos. La investigación apunta a que el hecho de utilizar equipamiento MBL no garantiza una mejora en el aprendizaje de conceptos científicos (Pintó y Aliberas, 1996), es necesario un buen diseño de la actividad experimental que permita que se entiendan nuevos contenidos y una aproximación interdisciplinar. Con esta idea, Redish et al. (1997) compararon los resultados de diecinueve clases de introducción a la física en la universidad impartidas por seis profesores diferentes. En algunas clases se utilizaron tutoriales MBL; los resultados de su

investigación demostraron que los tutoriales supusieron una mejora significativa en comparación con las clases tradicionales.

Se puede constatar que hay bastantes investigaciones, referidas al aprendizaje de la física, sobre los beneficios de obtener el gráfico de manera simultánea a la ejecución del experimento: se ha demostrado que favorece la comprensión y la interpretación del gráfico (Brasell, 1987; Beixhner, 1990) y puede favorecer las capacidades de razonamiento (Friedler et al., 1990) y la comprensión conceptual (Fernández et al., 1996; McRobbie et al., 2002; Marcum-Dietrich, 2002; Pintó i Sáez, 2005; Sáez et al., 2005). Asimismo, ver y acostumbrarse a que los gráficos obtenidos no son como los teóricos permite trabajar y mejorar las habilidades para la interpretación de gráficos (Mokros y Tinker, 1987; McDermott et al., 1987; Mee, 2002; Testa et al., 2002; Sassi et al., 2005). Sin embargo, hay pocos estudios que analicen la relevancia del uso de esta técnica para el aprendizaje de la química en comparación con otras disciplinas científicas (Hogarth et al., 2006).

Numerosas investigaciones sobre las dificultades de los alumnos en el aprendizaje de los conceptos ácido-base y fenómenos relacionados con estos sugieren que los alumnos se pueden beneficiar del uso de equipos de captación automática de datos. Los pioneros estudios de Nakhleh y Krajcik (1993 y 1994), que investigaron cómo diferentes niveles de información, presentados con distintas tecnologías, influenciaban en el aprendizaje de los conceptos de ácido y base en estudiantes de secundaria, sugirieron que el orden de influencia de la tecnología en el aprendizaje era MBL > indicadores químicos > pH metro. Thomas et al. (2004), si bien identificaron las principales ventajas mencionadas por otros autores acerca del aprendizaje de los alumnos mediante esta tecnología, también reportaron dificultades de los estudiantes relacionadas con una falta de familiarización con el uso de sensores. Heck et al. (2009) sugieren que, para sacar un buen rendimiento del uso de sensores en el aula, el profesorado debe tener en cuenta que hay dos tipos de habilidades involucradas: las *habilidades operacionales*, referidas al uso de hardware y software, y las *habilidades procedimentales*, referidas al modo como se utilizan las herramientas informáticas con el objetivo de obtener un aprendizaje significativo. Además, están las habilidades pedagógicas, comunes a otras experiencias, que contribuirán a la efectividad de las actividades.

Sheppard (2006) afirma que los equipos MBL, cuando son utilizados con técnicas de predicción-observación-explicación (POE), pueden ser una herramienta potente para evaluar el aprendizaje de conceptos de los estudiantes en una gran variedad de temas y áreas de la química. Pierri et al. (2008), que estudiaron cómo los estudiantes de secundaria conceptualizan la relación entre las características de las sustancias puras y sus puntos de fusión-ebullición durante el cambio de fase, concluyeron que cuando los equipos MBL se utilizan con una aproximación pedagógica adecuada pueden ayudar a los estudiantes a entender de manera más efectiva los conceptos que estudian. En un reciente trabajo de la autora (Tortosa, 2012) se profundiza en el estado de la cuestión acerca del uso de laboratorios de captación automática de datos para el aprendizaje de la química y se propone el diseño de actividades prácticas basadas en resultados de investigación en didáctica.

El aprendizaje de las ciencias con sensores debe ser un elemento que vaya más allá de la motivación; han de aprovecharse sus potencialidades. En el presente trabajo presentamos un estudio sobre el manejo y aprendizaje de los conceptos de pH, desplazamiento del equilibrio químico y disoluciones tampón mediante el uso de sensores de pH por alumnado de segundo de bachillerato (17-18 años).

OBJETIVOS DEL TRABAJO

Se presenta un estudio sobre alumnado de bachillerato que ha trabajado en una secuencia didáctica de indagación guiada en una sesión larga de laboratorio. En esta, los participantes han trabajado con los conceptos de ácidos y bases fuertes y débiles (que ya habían estudiado con anterioridad), de despla-

zamiento del estado de equilibrio (concepto ligeramente trabajado anteriormente) y de disoluciones reguladoras (concepto no trabajado antes). También se presenta el diseño de la secuencia didáctica utilizada, que se ha elaborado adaptando los resultados de investigaciones en didáctica de las ciencias a material de aula innovador para trabajar contenidos curriculares ácido-base de segundo de bachillerato.

Las preguntas de investigación planteadas han sido las siguientes:

1. ¿Qué creen los estudiantes que han hecho al participar en una larga sesión de laboratorio usando sensores?
2. ¿Son capaces de dar sentido a los conceptos nuevos que se han introducido en la sesión?
3. ¿Hasta qué punto son capaces de configurar el sistema correctamente la primera vez que lo usan?

MATERIAL Y MÉTODOS

Contexto del estudio

Los alumnos analizados son estudiantes de segundo curso de bachillerato provenientes de doce institutos públicos de Cataluña que participaron en un taller de química contextualizado en la salud humana llamado «Salud y reacciones de equilibrio». El taller forma parte del proyecto REVIR de la Universitat Autònoma de Barcelona (<<http://crecim.uab.cat/revir/>>). El proyecto REVIR (realidad-virtualidad) consiste en la realización de talleres prácticos de ciencias utilizando nuevas tecnologías en laboratorios informatizados de la UAB (Universitat Autònoma de Barcelona). Estos talleres están dirigidos a alumnos de secundaria de los centros educativos de Cataluña. El proyecto nació en el curso 2003-2004 como parte de las actividades del CRECIM (Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica-UAB).

Entre los objetivos que se persiguen con el proyecto REVIR, se encuentra, por un lado, facilitar que los estudiantes jóvenes se familiaricen con la utilización de herramientas informáticas para el aprendizaje de las ciencias y así mejoren su proceso de enseñanza-aprendizaje en ciencias y, por otro, dar soporte a los centros de secundaria con pocos recursos informáticos y a sus profesores de ciencias, no siempre acostumbrados al manejo de estas herramientas.

Diseño de la secuencia didáctica: «Salud y reacciones de equilibrio»

El taller «Salud y reacciones de equilibrio» está destinado a estudiantes de química de segundo curso de bachillerato (17-18 años). La autora de este trabajo lo diseñó e implementó con alumnos de distintos institutos de Cataluña durante cuatro cursos (2005-2009).

La actividad está contextualizada en la salud humana, concretamente, en las analíticas sanguíneas y en las disfunciones de los parámetros ácido-base de nuestro organismo. Los participantes trabajan para responder a la siguiente pregunta:

¿Cómo puede explicarse desde la química que el pH del plasma sanguíneo se mantenga constante, habiendo interacción continua entre los medios interno y externo?

Para el diseño de la secuencia se tuvieron en cuenta los factores siguientes: el grado de conocimiento del alumnado sobre los conceptos y procedimientos trabajados, los objetivos conceptuales y procedimentales que se perseguían con cada acción, que fuera una actividad contextualizada en la salud y estructurada como un ciclo de aprendizaje, y que en la toma de datos el alumnado siguiese un ciclo «predicción-observación-comparación-explicación».

- Grado de conocimiento del alumnado de los conceptos y procedimientos trabajados en la actividad

En el taller, los alumnos trabajaron con conceptos que ya conocían previamente, bien porque se encuentran en el currículo, bien porque son comunes en situaciones cotidianas (como los conceptos de ácido, base, pH, disolución, mol, indicadores ácido-base, etc.), y con conceptos que debían construir, ya que era la primera vez que se enfrentaban a ellos (disolución reguladora, líquidos comunes que tienen efecto tampón, equipos de captación automática de datos, etc.). En la tabla 1, elaborada a partir de una modificación en la clasificación de conceptos realizada previamente por otros autores (Buty et al., 2004), puede verse una clasificación de los conceptos y procedimientos que intervienen en las actividades del taller.

Tabla 1.
Clasificación de los conceptos y procedimientos que intervienen en la actividad analizada

	Ya conocido según el currículo	Ya conocido de la vida diaria	Para construir (química/bioquímica/laboratorio)
Mundo teórico / Modelo	Conceptos de: - pH, ácido, base - Iones - Concentración de una disolución - Reacción química - Nociones de equilibrio químico - Nociones de desplazamiento del estado de equilibrio - Constante de acidez (K_a)	- Cambios químicos cotidianos - Comportamiento de algunos ácidos y bases comunes	- Desplazamiento del estado de equilibrio - Relación entre la variación del pH y la perturbación del equilibrio - Composición disoluciones tampón - Comportamiento regulador de pH de las disoluciones tampón
Relación entre la teoría(modelo) y los objetos (sucesos)	- Sustancias ácidas/básicas comunes tienen el pH bajo/alto - Algunas sustancias cuando se disuelven desaparecen y se forman iones. - Un líquido transparente no significa una sustancia pura.	- Cuando respiramos consumimos oxígeno y liberamos dióxido de carbono	- En un líquido transparente se puede estar produciendo un cambio químico - Cuando añadimos una sustancia a una disolución de un ácido débil, el equilibrio, se desplaza y el pH varía. - Las disoluciones tampón permiten mantener la acidez constante, lo que permiten el funcionamiento de todas las reacciones que deben tener lugar a un pH constante, por ejemplo las metabólicas.
Mundo de los objetos (sucesos)	- Disolución - Indicadores ácido-base comunes - Ejecución de reacciones químicas sencillas	- Procesos reversibles (fusión/solidifica.) - respiración - Enfermedades y alteración de la respiración - Acidez estómago/bicarbonato - Sustancias ácidas	- Muchos líquidos comunes son disoluciones reguladoras - En el plasma sanguíneo hay sistemas tampón
Método de observación/ toma de datos	Operaciones básicas de laboratorio	- Uso de sistemas analógicos y de sistemas digitales de medida	- Equipos de captación automática de datos. - Configuración de la toma de datos.

Objetivos conceptuales y procedimentales de cada acción

En la puesta en práctica del taller, las actividades efectuadas por los alumnos y los objetivos que con ellas se pretenden se reparten en cinco momentos de la sesión. En la tabla 2 se detallan un resumen de

las actividades efectuadas por los alumnos y los objetivos que con ellas se pretenden. Hay objetivos de aprendizaje que son de tipo conceptual (indicado en la tabla con la letra C precedida de un número que señala el momento de la sesión; por ejemplo, 1C indica un objetivo conceptual en el momento 1), mientras que otros son de tipo instrumental (indicados en la tabla con la letra I).

Tabla 2.
Objetivos de aprendizaje del profesorado en los distintos momentos del taller.
C: conceptual; I: instrumental

Momento de la sesión	Objetivos de aprendizaje (profesorado)	Clasificación Según el tipo de objetivo
1. Medidas del pH utilizando sensores Clasificación de sustancias: ácidas/básicas/neutras	Recordar conceptos conocidos Aprender a utilizar equipos MBL/configuración	1C <div>1I</div>
2. Desplazamiento del equilibrio en un ácido débil	Justificar los cambios de pH y el desplazamiento del estado de equilibrio.	2 C
3. Preparación de una disolución reguladora en el laboratorio y observación de la evolución del pH al añadir pequeñas cantidades de ácido/base.	Conocer la composición de las disoluciones tampón. Conocer la propiedad principal del comportamiento de una disolución tampón. Aprender a utilizar el equipo con dos sensores	3C1 3C2 <div>3I</div>
4. Investigación del comportamiento regulador de líquidos naturales	Justificar el comportamiento observado en relación a su composición química Aprender como determinar en el laboratorio si una disolución es tampón	4C 4I
5. Generalización: Cómo la química puede explicar la invariabilidad del pH del plasma sanguíneo a partir de datos teóricos (gráfico de barras)	Hacer inferencias a nuevas situaciones	5C

Esquema del diseño didáctico de la actividad

En la figura 2 puede verse el esquema del diseño didáctico del taller. En la parte superior de la imagen se encuentra el eje temporal. Toda la actividad se basa en un ciclo de aprendizaje de cuatro fases. Al inicio de la sesión se introduce el contexto, se plantea la pregunta problema y también se presentan el instrumental de laboratorio y el equipo de captación automática de datos que servirá para modelizar el proceso. Cada vez que los y las participantes efectúan una toma de datos, son guiados por la secuencia predicción-diseño-ejecución-comparación, como se muestra en la figura 3. Se les pide que dibujen el gráfico o escriban la predicción de sus resultados, que diseñen el montaje y/o configuren el equipo de captación automática de datos, que hagan el experimento y que comparen sus resultados, tanto con sus predicciones como con los teóricos, para poder generalizarlos y aplicarlos a nuevas situaciones.

En la fase de exploración los alumnos debían clasificar como ácidas, neutras o alcalinas unas disoluciones 0,1 M de ácido clorhídrico, de ácido acético, de ácido cítrico, de hidróxido de sodio, de bicarbonato de sodio y de cloruro de sodio y también el agua destilada. Para hacerlo utilizaron indicadores comunes ácido-base y sensores de pH. Los objetivos de esta parte del taller son hacer emerger las ideas

previas del alumnado y, también, que se familiarice y aprenda a configurar el equipo de captación automática de datos que no ha utilizado anteriormente.

A raíz de los resultados que obtuvieron con los tres ácidos, que siendo de la misma concentración presentaban distinto pH, se trabajó con el equilibrio en un ácido débil, y los alumnos investigaron el desplazamiento del estado de equilibrio del ácido acético y su relación con el pH. Los estudiantes habían trabajado el equilibrio químico en sus institutos.

En la fase de introducción se presentaron las disoluciones reguladoras de pH o tampón, concepto que los alumnos no conocían. Se explicó la composición química de estas y se les guió en la preparación de una disolución reguladora que mezclaba ácido acético e hidróxido de sodio. También compararon los gráficos de las variaciones de pH entre la disolución tampón preparada y agua desionizada al añadir pequeñas cantidades iguales de HCl y de NaOH a ambos líquidos, mediante el equipo MBL.

En la fase de estructuración el alumnado trabajó investigando el comportamiento regulador de dos líquidos naturales: agua carbónica y zumo de naranja natural recién exprimido. Un esquema del montaje efectuado para obtener las medidas y los resultados alcanzados por uno de los grupos de alumnos puede verse en la figura 4. A partir de los resultados, los participantes dedujeron explicaciones posibles acerca de la composición de cada líquido.

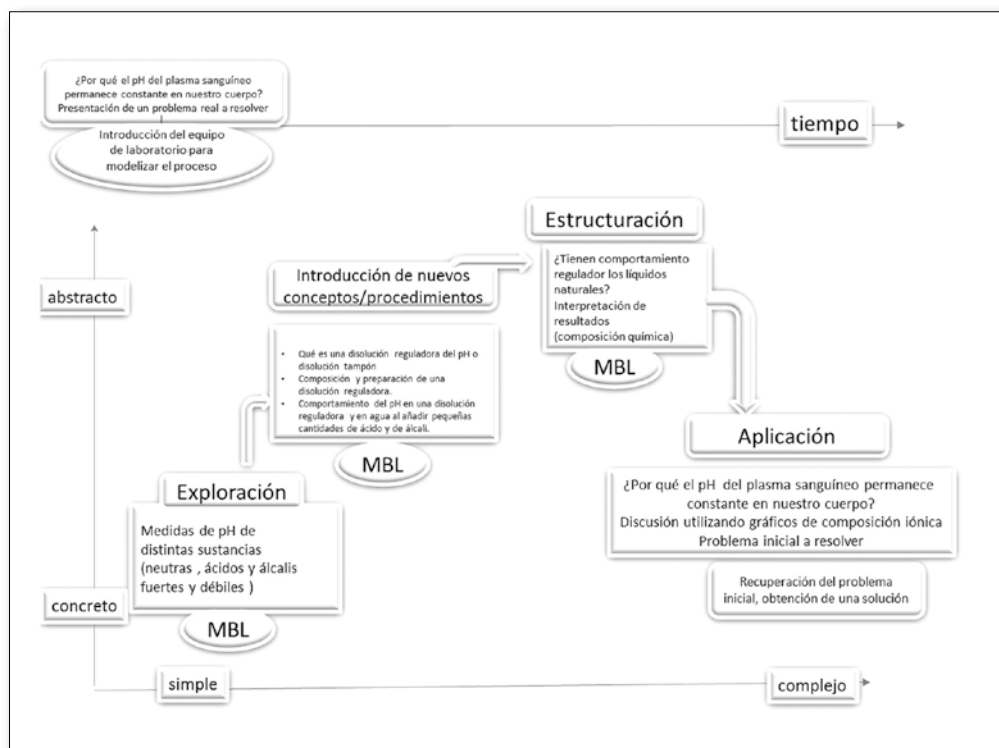


Figura 2. Esquema del diseño didáctico de la actividad estudiada.

Finalmente, en la fase de aplicación, se retomó la pregunta inicial: ¿Cómo puede explicarse desde la química que el pH del plasma sanguíneo se mantenga constante? Se presentaron a los alumnos gráficos con la composición iónica del plasma sanguíneo y de los líquidos intracelular e intercelular y, a partir de ellos, se pidió a los estudiantes que respondiesen a la pregunta justificadamente.

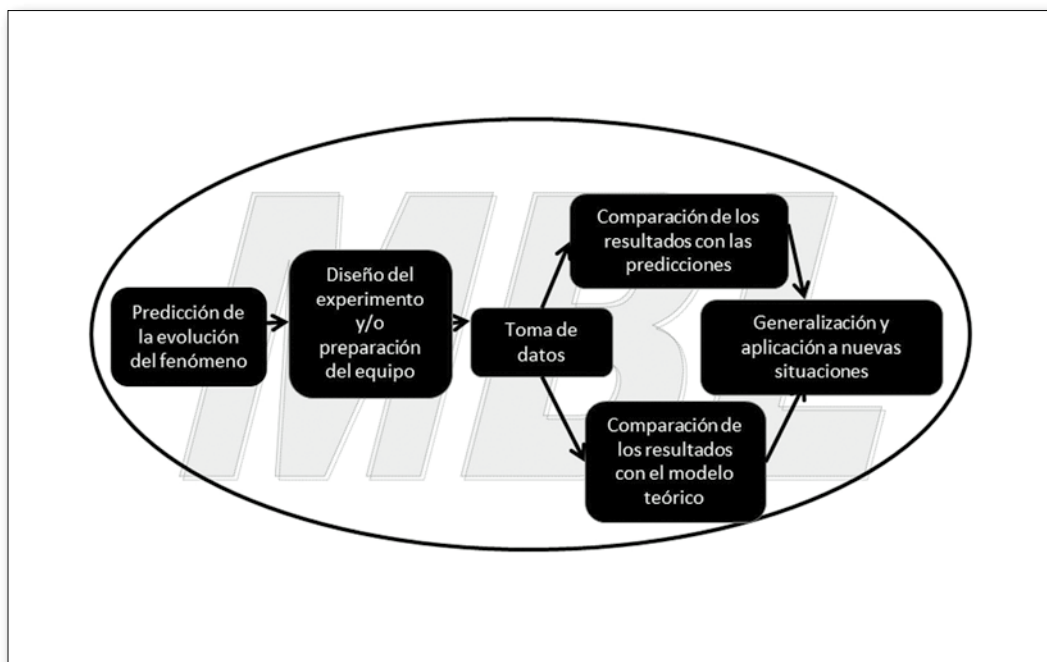


Figura 3. Secuencia predicción-diseño-ejecución-comparación en la que fueron guiados los estudiantes al tomar datos experimentales con sensores.

Sensor de pH interfaz

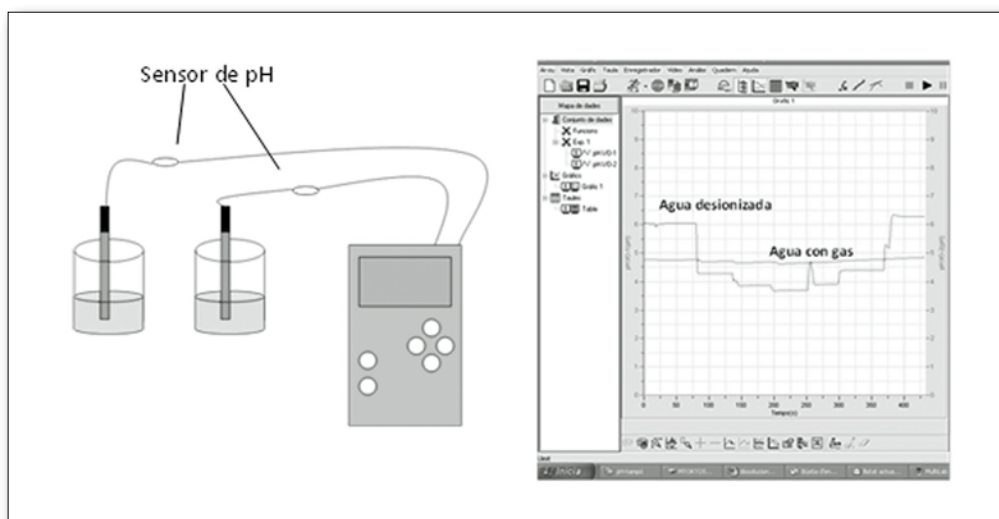


Figura 4. Esquema del montaje efectuado para obtener las medidas de pH al añadir cantidades iguales de disoluciones de ácido clorhídrico y de hidróxido de sodio a agua carbónica y a agua desionizada (izquierda). Resultados obtenidos por un grupo de alumnos (derecha).

Muestras y recogida de datos

Características y número de alumnos

Se ha estudiado en total a 158 estudiantes pertenecientes a doce grupos de segundo de bachillerato (17-18 años) de distintos institutos públicos de Cataluña que asistieron al taller de cuatro horas de duración «Salud y reacciones de equilibrio» en la Universidad. Los datos recogidos corresponden a los cursos 2005-2006, 2006-2007, 2007-2008 y 2008-2009.

Los participantes trabajaron en el laboratorio en pequeños grupos (preferentemente tres alumnos) colaborativos. La toma de datos la efectuaron mediante sensores de pH y de temperatura y equipos de captación automática de datos. La mayoría de los alumnos no habían trabajado previamente con esta herramienta.

Encuestas al alumnado

Al final del taller, los estudiantes respondieron anónimamente un cuestionario escrito con preguntas abiertas. Se presenta el análisis de las respuestas de diez grupos de alumnos (n=136) que tuvieron tiempo suficiente al final de la sesión para responder a las preguntas.

Las dos preguntas del cuestionario que han sido analizadas son preguntas abiertas:

¿Qué has hecho durante la sesión?

¿Cómo podemos saber si una disolución es tampón?

Observaciones visuales durante el taller

Seis de los grupos asistentes a las sesiones los cursos 2005-2006 y 2006-2007 manifestaron no haber utilizado anteriormente los equipos de captación automática de datos. Fueron *observados visualmente* por los monitores y la profesora del taller y autora del trabajo, y sus conductas anotadas en *dos momentos* a lo largo de la sesión: el primer momento de observación coincide con tener que configurar la toma de datos/medidas para un sensor de pH. En este caso, los alumnos eran informados de la existencia, en el dossier de prácticas, de instrucciones escritas para configurar el sistema respecto a la frecuencia, modo de grabación y tiempo experimental para tomar datos con un sensor. La toma de datos se efectuó observando y *clasificando a los alumnos en cuatro categorías* (tabla 3). El segundo momento en el que se observaron las conductas de los participantes corresponde al punto en el que se efectúan medidas con dos sensores (ver tabla 2, objetivo 3I). Se eligió esta situación porque en la versión utilizada del programa de toma de datos (Multilab versión 1.4.01) no era posible configurar previamente el mismo rango para las medidas de los dos sensores, por lo que para poder comparar los resultados se debía quitar el autoescalado de los ejes y poner el mismo intervalo después de empezar a medir.

Los alumnos fueron informados de esta situación y, en el dossier de prácticas, se les dieron instrucciones precisas al respecto. La toma de datos del trabajo que se presenta se efectuó observando a los alumnos en este momento y *clasificándolos en cuatro categorías* (tabla 3). En todos los casos *la ayuda* se refiere a una breve explicación oral individual, por parte del profesorado del taller, acerca de la configuración o autoescalado en la toma de muestras.

Tabla 3.
Pauta utilizada en la observación visual para la clasificación de alumnos inicialmente inexpertos en el uso de uno o dos sensores y equipos MBL

Uso de un sensor	Uso de dos sensores
Configura correctamente el sistema sin ninguna ayuda	Quita el autoescalado correctamente sin ninguna ayuda (Configura correctamente)
Configura correctamente el sistema con ayuda	Quita el autoescalado correctamente con ayuda (Configura con ayuda)
No logra configurar el sistema aun teniendo ayuda, pero lo intenta	No quita el autoescalado aun teniendo ayuda, pero lo intenta (No logra configurar el sistema)
No intenta configurar el sistema	No intenta quitar el autoescalado (No lo intenta)

RESULTADOS

Respuestas a la pregunta abierta ¿Qué has hecho durante la sesión?

Como primer dato destaca el hecho de que, después de participar en la sesión, de manera general, los estudiantes se refieren a la mayoría de los conceptos trabajados durante la sesión; también destaca el hecho de que ninguna respuesta se refiera únicamente al equipo o a otros instrumentos de laboratorio. Estos hallazgos conducen a pensar que el estudiantado da más importancia a los conceptos trabajados que al instrumental utilizado para la obtención de los datos, y que integra el equipo MBL como un mecanismo para progresar en la secuencia de indagación.

Identificación de conceptos científicos

En la tabla 4 pueden verse los conceptos más mencionados por los estudiantes al responder a esta pregunta: son pH, estudio de ácidos y bases, reacciones de equilibrio, disoluciones tampón y disoluciones tampón cotidianas (zumo...). Se han marcado en negrita, para cada centro, los conceptos más mencionados. De las respuestas totales, en la última columna destacan dos conceptos como los más mencionados por los alumnos: pH (concepto ya conocido por los estudiantes antes de la actividad) y disoluciones tampón (concepto nuevo introducido durante la sesión). Podemos decir que los alumnos han dado importancia tanto a conceptos conocidos como a conceptos nuevos introducidos en la actividad. Estos datos corroboran la importancia dada por otros autores tanto al material didáctico de soporte utilizado en la sesión como a la manera de implementarlo en el aula (Hofstein, 2004; Parchmann, 2006).

Tabla 4.
Conceptos más mencionados por los alumnos en las respuestas
a la pregunta ¿Qué has hecho durante la sesión?

CENTRO	1 (n=23) %	2 (n=11) %	3 (n=13) %	4 (n=18) %	5 (n=17) %	6 (n=13) %	7 (n=18) %	8 (n=10) %	9 (n=17) %	10 (n=6) %	Total (n=136) %
pH	65	82	69	75	76	69	100	80	53	100	75
Estudio ácidos bases	39	36	23	38	41	46	50	40	35	50	40
Reacciones equilibrio	48	54	0	50	6	0	56	10	6	17	22
Disoluciones tampón	30	9	46	88	65	62	67	100	53	33	54
Disoluciones tampón cotidianas/sangre	----	----	69	25	59	5	6	30	65	67	33

Calidad y complejidad de las respuestas

Para valorar la calidad de las respuestas se ha estimado su complejidad. Se ha considerado que una respuesta más compleja es la que menciona un mayor número de conceptos. Puede compararse la complejidad de las respuestas para los distintos grupos analizados en la tabla 5, en la que se aprecia que, en la mayor parte de los centros, las respuestas mayoritarias contienen dos o tres conceptos. Merece atención el hecho de que el número de respuestas más complejas (con más de tres conceptos) es menor del 20% en ocho de los diez grupos analizados, y es cero en cuatro de ellos. Hay dos grupos (INS 4 e INS 7) que destacan del resto, ya que más del 20% de sus estudiantes han mencionado más de tres conceptos trabajados y el número de respuestas a partir de tres conceptos o más es igual o superior al 50%. Estos datos parecen sugerir una diferencia entre centros respecto a la apropiación de los objetivos de la actividad por parte del alumnado, aunque no se dispone de datos suficientes para confirmarlo.

Tabla 5.
Frecuencias absolutas del número de respuestas en función del número de conceptos mencionados

INS	1 (n=23) %	2 (n=11) %	3 (n=13) %	4 (n=18) %	5 (n=17) %	6 (n=13) %	7 (n=18) %	8 (n=10) %	9 (n=17) %	10 (n=6) %	Total (n=136) %
1 concepto	35	27	15	13	6	8	22	0	6	0	15
2 conceptos	39	64	62	25	53	38	28	40	71	50	47
3 conceptos	22	9	15	38	29	46	28	60	6	33	26
>3 conceptos	0	0	8	25	12	0	22	0	12	17	9
otros	4	0	0	0	0	8	0	0	6	0	2

Respuestas a la pregunta abierta ¿Cómo podemos saber si una disolución es tampón?

Respuestas conceptuales e instrumentales

Se han clasificado las respuestas del alumnado como conceptuales, cuando mencionaban conceptos («Es una disolución reguladora si contiene un ácido débil y su base conjugada» o bien «A partir de su composición»), e instrumentales, cuando se referían a las acciones (por ejemplo: «Si al añadir un ácido o una base el pH no varía»). Algunas respuestas se clasificaron como instrumentales y conceptuales a la vez (por ejemplo: «Si tiene un ácido débil y su base conjugada o si su nivel de pH varía muy poco cuando se le añade un ácido o una base»). Los resultados detallados de la clasificación de respuestas para cada instituto pueden verse en tabla 6.

Tabla 6.
Clasificación en conceptuales e instrumentales de las respuestas
a la pregunta ¿Cómo podemos saber si una disolución es tampón?

Número de respuestas relativas a (n = 136)	Conceptual (composición química, concentración, equilibrio)	Conceptual e instrumental	Instrumental	Otros/ respuestas erróneas
INS 1 (n = 23)	1	1	18	3
INS 2 (n = 11)		1	10	
INS 3 (n = 13)	1		11	1
INS 4 (n=8)		2	6	
INS 5 (n=17)		2	11	4
INS 6 (n = 13)			9	4
INS 7 (n = 18)	2		16	
INS 8 (n = 10)			10	
INS 9 (n = 17)	1	3	13	
INS 10 (n = 6)	1	2	2	1
Total (n = 136)	6	11	106	13

Respuestas argumentativas o no argumentativas

Las respuestas también se clasificaron como argumentativas o no argumentativas. Se consideró que una respuesta es argumentativa cuando relaciona datos y conclusiones («Se pone en la disolución la misma cantidad de ácido y de base y si no varía el pH, si es constante, quiere decir que es tampón», o bien «Cuando el pH se mantiene constante y por mucho que añadas un ácido o una base, el pH no varía»); las respuestas que no lo hacen se han clasificado como no argumentativas («Si su pH varía no es tampón, si no varía es tampón»).

Casi cuatro de cada cinco respuestas (77,2%) fueron instrumentales y, de estas, siete de cada diez (70 de 105) son argumentativas. En la tabla 7 pueden verse los resultados en número de alumnos para cada instituto.

La proporción de respuestas argumentativas frente al total de respuestas es del 60%. Lo que significa que seis de cada diez alumnos saben dar razón del concepto de disolución reguladora de pH después de participar en el taller. Consideramos este resultado positivo, ya que los participantes no habían trabajado anteriormente con el concepto de disolución reguladora de pH, y estamos de acuerdo con otros autores (Anderson y Krathwohl, 2001) al concluir que ha habido aprendizaje significativo ya que los alumnos han dado sentido y han sido capaces de aplicar lo que han aprendido. Nuestros resultados están de acuerdo con otros trabajos (Minster y Krauss, 2005) que sostienen que el aprendizaje por indagación implementado adecuadamente tiene el potencial de mejorar el aprendizaje significativo de los estudiantes.

Los resultados presentados sugieren que la práctica, en la que los estudiantes estudian cualitativamente las propiedades de las disoluciones reguladoras de pH antes de adentrarse en el estudio cuantitativo, es una buena aproximación inicial a su estudio ya que solo trece alumnos de un total de 136 no han sabido dar cuenta de cómo se puede saber si una disolución es tampón. Otros autores (Ganaras et al., 2008) proponen una aproximación similar para el desplazamiento del estado de equilibrio en otros tipos de reacciones.

Tabla 7.

Número de respuestas argumentativas y no argumentativas para cada uno de los grupos (conceptual, instrumental, conceptual e instrumental) dadas por los alumnos de cada centro

	Conceptual (composición química, concentración, equilibrio)		Conceptual e instrumental		Instrumental		Otros/ respuestas erróneas
Número de respuestas (n= 136)	7		11		105		13
Total %	5,1 %		8,1 %		77,2 %		9,6 %
A: Argumentativa NA: No argumentativa	A	NA	A	NA	A	NA	
INS 1 (n = 23)	1	--	1	--	5	13	3
INS 2 (n = 11)	--	--	1	--	6	4	--
INS 3 (n = 13)	--	1	--	--	7	4	1
INS 4 (n = 8)	--	--	2	--	4	2	--
INS 5 (n = 17)	--	--	2	--	11	--	4
INS 6 (n = 13)	--	--	--	--	8	1	4
INS 7 (n = 18)	--	2	--	--	10	6	--
INS 8 (n = 10)	--	--	--	--	10	--	--
INS 9 (n = 17)	--	1	2	2	8	4	--
INS 10 (n = 6)	1	1	1	--	1	1	1
Número total de respuestas (n = 136)	2	5	9	2	70	35	13
Total %	1,5 %	3,7 %	6,6 %	1,5 %	51,4	25,7	9,6

Resultados de las observaciones visuales de la configuración del equipo de captación automática de datos

En la tabla 8 se muestran los resultados de las observaciones visuales sobre configuración del equipo para utilizar un sensor de pH por parte de los seis grupos de alumnos que manifestaron que nunca habían utilizado el equipo de captación automática de datos antes de asistir a la sesión. Son las observaciones correspondientes al momento 1, objetivo 1 I de la tabla 2, en la que se observa cómo los estudiantes configuran por primera vez el equipo MBL con un sensor, teniendo las instrucciones en el dossier de prácticas.

Tabla 8.
Clasificación de los alumnos de cada centro, sin experiencia previa en equipos MBL, que configuran el equipo para la toma de datos utilizando un sensor

Centro	Configura el equipo sin ninguna ayuda	Configura el equipo con ayuda	No logra configurar el sistema, pero lo intenta	No lo intenta	Mal funcionamiento del equipo
INS 1 (n = 23)	5	10	2	3	3
INS 2 (n = 11)	5	5	0	1	0
INS 3 (n = 13)	6	2	0	5	0
INS 8 (n = 10)	5	2	0	3	0
INS 11 (n = 10)	2	4	3	1	0
INS 12 (n = 12)	5	5	0	2	0
Total (n = 79)	28	28	5	15	3
Total (%)	35,4%	35,4%	6,3%	19,0%	3,8%

Al estudiar estos resultados podemos observar que, aunque es la primera vez que los estudiantes se enfrentan con los equipos MBL, más de la tercera parte de ellos (35,4%) pueden configurar el programa informático con el objetivo de obtener datos experimentales, siguiendo únicamente instrucciones escritas, y el mismo número de estudiantes logran hacerlo después de una breve ayuda del profesor. Así, la primera vez que se enfrentan al equipo, más del 70% de los alumnos pueden configurar el programa Multilab, bien autónomamente, bien con una pequeña ayuda del profesorado. Por otro lado, cinco alumnos (6,3%) no pueden configurar el equipo y la profesora o la monitora tiene que hacerlo por ellos, mientras que quince alumnos no intentan configurar el programa; estos alumnos no muestran interés en hacer esta tarea y se encuentran haciendo otras labores durante el rato en que sus compañeros de grupo se ocupan de la configuración del programa.

El segundo momento en el que se produjo la observación y clasificación de las actitudes de los alumnos fue el momento 3 (objetivo 3 I tabla 2), que es la situación experimental en la que la interfaz

está conectada a dos sensores y, en la versión del programa utilizado (Multilab versión 1.4.01), los dos gráficos resultantes se obtienen superpuestos por defecto, ya que cada eje tiene su propia escala; en esta, para poder comparar los resultados visualmente, es necesario quitar el autoescalado del programa cuando el equipo ya ha empezado a tomar los datos experimentales (el programa también permite otras posibilidades que no se indicaron a los estudiantes). En las observaciones para medir la cantidad de estudiantes capaces de quitar el autoescalado, se informó a los estudiantes de esta característica y se les recordó por escrito en el dossier de prácticas. Debemos mencionar que si los estudiantes no hacían esta operación, tenían dificultades a la hora de interpretar los resultados del experimento que estaban haciendo

Tabla 9.

Clasificación de los alumnos de cada centro, sin experiencia previa en equipos MBL, que configuran el equipo para la toma de datos utilizando dos sensores

Centro	Configura el equipo sin ninguna ayuda	Configura el equipo con ayuda	No logra configurar el sistema, pero lo intenta	No lo intenta	Mal funcionamiento del equipo
INS 1 (n = 23)	5	7	2	3	6
INS 2 (n = 11)	0	5	0	6	0
INS 3 (n = 13)	8	0	0	5	0
INS 8 (n = 10)	2	8	0	0	0
INS 11 (n = 10)	1	5	0	4	0
INS 12 (n = 12)	6	0	6	0	0
Total (n = 79)	22	25	5	18	0
Total (%)	27,9%	31,6%	10,1%	22,8 %	7,6 %

Los resultados de las actitudes de los estudiantes en esta segunda observación se muestran en la tabla 3. Su análisis nos permite advertir que más de una cuarta parte de los estudiantes (27,9%) pueden hacer la operación de manera autónoma, mientras que casi una tercera parte (31,6%) pueden hacerlo con una breve ayuda de la profesora/monitora. También merece atención el hecho de que 18 alumnos (22,8%) no intentan hacer este ejercicio y realizan otras tareas mientras sus respectivos compañeros de grupo se ocupan del equipo informático. Un análisis detallado revela que, salvo pocas excepciones, son prácticamente los mismos estudiantes los que manifiestan este comportamiento las dos veces que han sido observados a lo largo del taller.

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

A partir de los resultados presentados, se concluye que el que los estudiantes empiecen el estudio de las disoluciones reguladoras mediante una aproximación cualitativa, utilizando material didáctico diseñado como un ciclo de aprendizaje e indagación guiada y haciendo medidas con sensores de pH, es una buena manera de hacerlo, ya que promueve tanto el interés de los estudiantes como el aprendizaje significativo. Basamos esta conclusión en los datos obtenidos, que muestran que alumnos que han participado en una sesión de química planteada en las condiciones indicadas dan más importancia a los conceptos trabajados que al instrumental de toma de datos. También sustenta la propuesta presentada el hecho de que, cuando los estudiantes mencionan la tecnología MBL, la integran como una herramienta más de laboratorio para progresar en la secuencia.

Los datos aportados indican que los estudiantes que han participado en la actividad son capaces de mencionar los conceptos importantes que se han trabajado, dando prioridad tanto a conceptos conocidos previamente (pH) como a nuevos (soluciones tampón), lo que sugiere que la actividad ha proporcionado motivación para el aprendizaje de nuevos conceptos.

Seis de cada diez estudiantes argumentaron correctamente cómo comprobarían si una disolución es reguladora del pH, y el número de respuestas correctas a esta pregunta es del 90%. Teniendo en cuenta que para los asistentes el concepto era totalmente nuevo, puede considerarse que la aproximación al problema es positiva. Se ha obtenido que la mayoría de las respuestas dadas por los alumnos son instrumentales. También, que la primera vez que los estudiantes se enfrentan al uso de equipos de captación automática de datos, más del 70% de ellos configuran correctamente el sistema sin ninguna o muy poca ayuda por parte del profesorado. Este hecho indica que es una herramienta adecuada para ser usada en las aulas de secundaria, más aún si se tiene en cuenta, según los resultados que se presentan, que los alumnos lo incorporan como un instrumento más de medida.

AGRADECIMIENTOS

A Roser Pintó, por darme la oportunidad de participar en el proyecto Revir, y al Departament d'Ensenyament de la Generalitat de Catalunya, que me permitió dedicar parte de mi jornada laboral a investigar en didáctica durante los cursos 2005-2009. También al profesorado y a las alumnas y alumnos que participaron y que respondieron anónimamente a las encuestas y nos permitieron hacer fotocopias de sus protocolos para que fuesen estudiados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKSELA, M. (2005). *Supporting meaningful chemistry learning and Higher-order thinking through computer-assisted inquiry: a design research approach*. Academic Dissertation. Helsinki: University of Helsinki.
- ANDERSON, L.W. y KRATHWOHL, D.R. (eds.) (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Nueva York: Longman.
- ATAR, H.Y. (2002). *Chemistry students' challenges in using MBLs in science laboratories*. Proceedings of Association for the Education of Teachers in Science, AETS International Conference, Charlotte.
- BENNETT, J. (2005). *Bringing science to life: the research evidence on teaching science in context*. Department of Educational Studies. Research Paper 2005/12. Universidad de York. Disponible en línea: <<http://www.york.ac.uk/media/educationalstudies/documents/research/Contextsbooklet.pdf>> (consulta junio, 2011).

- BERMÚDEZ G.M.A. y DE LONGHI A.M. (2011). Niveles de comprensión del equilibrio químico en estudiantes universitarios a partir de diferentes estrategias didácticas. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), pp. 264-288.
- BLONDER, R., MAMLOK-NAAMAN, R. y HOFSTEIN, A. (2008). Analyzing inquiry questions of high-school students in a gas chromatography open-ended laboratory experiment. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 9, pp. 250-258.
- BUTY, C., TIBERGHEN, A. y LE MARECHAL, J.F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *Int. J. Sci. Ed.* 16 vol. 26(5), pp. 579-604.
- CHEUNG D. (2009). Using think-aloud protocols to investigate secondary school chemistry teachers' misconceptions about chemical equilibrium. *Chem. Educ. Res. Pract.* 10, pp. 97-108.
- DEMIRCIOGLU, G., AYAS, A. y DEMIRCIOGLU, H. (2005). Conceptual change achieved through a new teaching program on acids and bases. *Chemistry Education Research and Practice*, 6 (1), pp. 36-51.
- DOGC, DIARI OFICIAL DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA (2008). DECRET 142/2008, de 15 de juliol, pel qual s'estableix l'ordenació dels ensenyaments del batxillerat. Disponible en línea: <<http://www.gencat.cat/diari/5183/08190087.htm>> (consulta julio 2011).
- ESPINOZA F. y QUARLESS, D. (2010). An inquiry-based contextual approach as the primary mode of learning science with microcomputer-based laboratory technology. *J. Ed. Tech. Syst.* 38(4), pp. 407-426, 2009-2010.
- EURYDICE Information on education systems and policies in Europe. Disponible en línea: <http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/index_en.php> (consulta julio 2011).
- FORTUS, D., HUG, B., KRAJCIK, J.S., KUHN, L., MC NEILL, K.L., REISER, B., RIVET, A., ROGAT, A., SCHWARZ, C. y SCHWARZ, C. (2006). *Sequencing and Supporting Complex Scientific Inquiry Practices in Instructional Materials for Middle School Students*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, NARST. San Francisco. 48 pp.
- GALAGOVSKY, L. (2007). Enseñar química vs aprender química: una ecuación que no está balanceada. *Química viva* 6 (número especial) suplemento educativo Mayo 2007, pp. 1-13. Disponible en línea: <<http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/Suplemento%20educativo/galagovsky.pdf>> (consulta julio 2011).
- GANARAS, K., DUMON, A. y LARCHER, C. (2008). Conceptual integration of chemical equilibrium by prospective physical sciences teachers. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 9, pp. 240-249.
- GARNET, P.J., GARNET, P.J. y HACKLING, M.W. (1995). Students Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, 25, pp. 69-95.
- HECK, A., KEDZIERKA, E., ROGERS, L. y CHMURSKA, M. (2009). Acid-Base Titration Curves in an Integrated Computer Learning Environment. *Chemical Educator*, 14 (4), pp. 164-174.
- HOFSTEIN A. (2003). The laboratory in chemistry education: Thirty years of experience with developments, implementation and research. *Chem. Ed. Res. Pract.*, 5(3), pp. 247-264.
- HOEFSTEIN, A. y LUNETTA, V.N. (1982). The role of laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52(2), pp. 201-217.
- HOEFSTEIN, A. y LUNETTA, V.N. (2003). The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88, pp. 28-54.
- IZQUIERDO, M., CAAMAÑO, A. y QUINTANILLA, M. (eds.) (2007). *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona, 203 pp.
- IZQUIERDO, M., ESPINET, M., GARCIA, M.P., PUJOL, R.M. y SANMARTÍ, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, n.º extra junio, pp. 79-92.

- JIMÉNEZ-LISO, M.R., DE MANUEL, E., GONZÁLEZ, F. y SALINAS, F. (2000). La utilización del concepto del pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), pp. 451-461.
- JIMÉNEZ LISO, M.R., DE MANUEL TORRES, E. y SALINAS LÓPEZ, F. (2003). El razonamiento causal secuencial en los equilibrios ácido-base múltiples: propuestas didácticas en el ámbito universitario. *Enseñanza De Las Ciencias*, 21 (2), pp. 223-242.
- MC NEILL, K. y KRAJCIK, J. (2006). *Supporting students' construction of scientific explanation through generic versus context-specific written scaffolds*. Paper presented at the annual meeting of the AMERICA Educational Research Association. San Francisco.CA.
- MINSTER, J. y KRAUSS, P. (2005). Guided inquiry in the science classroom. En Donovan M.S. y Bransford J.D. (eds.). *How Students Learn. Science in the classroom*, pp. 107-146.
- MONCALEANO, H., FURIÓ, C., HERNÁNDEZ, J. y CALATAYUD, M.L. (2003). Comprensión del equilibrio químico y dificultades para su aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pp. 111-118.
- NAKHLEH, M.B. y KRAJCIK, J.S. (1993). A protocol analysis of the influence of Technology on students' actions, verbal commentary, and thought processes during the performance of acid-base titrations. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(10), pp. 1077-1096.
- NAKHLEH M.B. y KRAJCIK, J.S. (1994). Influence of levels of information as presented by different technologies on students' understanding of acid, base and pH concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), pp. 1149-1168.
- OECD. *Programme for International Student Assessment. PISA 2003 Assessment Framework in Mathematics, Reading, Science and Problem Solving Knowledge and Skill*. Disponible en línea: <<http://www.pisa.oecd.org>> (consulta julio 2011).
- ORGILL, M.K. y SUTHERLAND, A. (2008). Undergraduate chemistry students' perceptions of and misconceptions about buffers and buffer problems. *Chem. Educ. Res. Pract.* 9, pp. 131-143.
- ÖZMEN, H. (2008). Determination of students' alternative conceptions about chemical equilibrium: a review of research and the case of Turkey. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 9, pp. 225-233.
- PARCHMANN, I., GRÄSEL, C., BAER, A., NENTWIG, P., DEMUTH, R., RALLE, B., the ChiK Project Group «Chemie im Kontext» (2006). A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach. *International Journal of Science Education*. 28(9), pp. 1041-1062.
- PEDROSA, M.A. y DIAS, M.H. (2000). Chemistry textbook approaches to chemical equilibrium and student alternative conceptions. *Chem.Edu.Res.Prac.* 1(2), pp. 227-236.
- PIERRI, E., KARATRANTOU, A., y PANAGIOTAKOPOULOS, C. (2008). Exploring the phenomenon of 'change of phase' of pure substances using the Microcomputer-Based-Laboratory (MBL) system *Chem. Educ. Res. Pract.* 9, pp. 234-239.
- PINTÓ, R. y ALIBERAS, J. (1996). *Approaches to the use of MBL in the secondary school*. New Ways of teaching Physics-Proceedings of the GIREP Conference, Ljubljana.
- PINTÓ, R., COUSO, D. y HERNÁNDEZ, M. (2010). An inquiry-oriented approach for making the best use of ICT in the classroom. *eLearning Papers*, 13(20), 1887-1542.
- QUÍLEZ, J. (2004). Changes in concentration and in partial pressure in chemical equilibria: students' and teachers' misunderstandings. *Chem.Edu.Res.Prac.*, 5(3), pp. 281-300.
- QUÍLEZ, J. (2006). Análisis de problemas de selectividad de equilibrio químico: errores y dificultades correspondientes a libros de texto, alumnos y profesores. *Enseñanza de las ciencias*, 24(2), pp. 219-240.
- RAVIOLO, A. y GARRITZ, A. (2009). Analogies in the teaching of chemical equilibrium: a synthesis/analysis of the literature. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 10, pp. 5-13.

- ROCARD, M., CSERMELY, P., JORDE, D., LENZEN, D., WALWERTG-HENRIKSSON, H. y HEMMO, V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. European Commission. Disponible en: <http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf> (consulta julio 2011).
- SHEPPARD, K. (2006). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chem. Ed. Res. and Pract.*, 7(1), pp. 32-45.
- STAVRIDOU, H. y SOLOMONIDOU, C. (2000). Representations et conceptions des élèves grecs par rapport au concept d'équilibre chimique. *Didaskalia*, 16, pp. 107-134.
- THOMAS, G.P., MAN-WAI, P.F. y PO-KEUNG, E.T. (2004). Students' perceptions of early microcomputer-based laboratories (MBL). *British Journal of Educational Technology*, 35(5), pp. 669-671.
- THORNTON, R.K. (1999). *Using the results of research in science education to improve science learning*. Keynote address to the International Conference on Science Education, Nicosia, Cyprus. 9 pp.
- TORTOSA, M. (2012). The use of microcomputer based laboratories in chemistry secondary education: Present state of the art and ideas for research-based practice. Perspective. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 13, pp. 161-171.
- TORTOSA, PINTÓ, R. y SÁEZ, M. (2008). The use of sensors in chemistry lessons to promote significant learning in secondary school students. En *Current Trends in Chemical Curricula*. Proceedings of the International Conference. Prague, pp. 135-139.
- TORTOSA y PINTÓ, R. (2010). How students use their knowledge on collision theory to design, perform and explain experiments about the rate of reaction in an inquiry-based task. En Maciejowska I. y Ciesla, P. (eds.). *10th European Conference on Research in Chemistry Education*. Book of abstracts. Krakow, Poland, pp. 269-270.
- TORTOSA, SÁEZ, M. y PINTÓ, R. (2007). Experimentos en tiempo real para los cursos de ciencias en secundaria. En Membiela (coord.). *Experiencias innovadoras de utilización de las NTIC*. Educación Editora: Vigo (Spain), pp. 139-157.

LEARNING ON BUFFER SOLUTIONS BY HIGH SCHOOL STUDENTS THROUGH INQUIRY GUIDED AND SENSORS WITH MICROCOMPUTER BASED LABORATORY EQUIPMENT

Montserrat Tortosa Moreno
INS Ferran Casablanças (Sabadell). *Universitat Autònoma de Barcelona*
montserrat.tortosa@uab.cat

The design and implementation of an inquiry based laboratory sequence to introduce buffer solutions to high school pupils is presented, and the learning of students is analysed. The activity is contextualised in human health.

At the beginning of the session, context is introduced and the question that will guide all the activity is presented. Students are also introduced to the microcomputer based laboratory (MBL, technology with sensors connected to an interface and to a computer that give results in real time) that will help them to model the process. Most of the students had never used this technology before. Every time that they capture data, students are guided in the sequence Prediction- Design of the experiment-Performance-Comparison, as it is shown in Figure 3.

In the session participants work with concepts previously studied (strong and weak acids and bases), concepts partially studied (displacement of the equilibrium state) and concepts not previously worked (buffer solutions). The introduction of buffer solutions is done in a quantitative manner: first students observe the variation of pH when adding small amounts of acid and of base to several liquids (buffer or not). They use their findings and graphs to answer the main question of the activity.

Our research aims to answer the questions:

What are the students' views of the work done in a long laboratory session using Microcomputer Based Laboratory?

Are they able to make sense of the new concepts which have only been introduced in the workshop?

To what extent are students able to configure the system correctly the first time they use it?

158 students from 12 groups of 2nd Bachillerato (17-18) coming from several schools in Catalonia have been analysed. Students performed the activity at a workshop at university during the academic years 2005-2006, 2006-2007, 2007-2008 y 2008-2009.

In order to analyze how well students had understood the tasks being done, at the end of the workshop, an anonymous written questionnaire was given to them. The analysis of the answers given to the open question «what you have done during the session?» is presented. This question was analyzed in the following way: We have classified the answers with respect to science concepts, actions or instruments that are mentioned, considering that the aspects mentioned are the ones that students give priority, that is, their view of the work done along the workshop.

In order to know if the students were able to make sense of new concepts only introduced in the workshop, We collected data from the question «How can we know if a solution is a buffer?». The answers have been classified in conceptual or around activities and argumentative and not argumentative categories. The concept of buffer solution was new for students as is scarcely taught at schools. Students were visually observed to analyze their performance with the MBL technology.

From the results obtained, it is concluded that the fact that students begin the study of buffer solutions in a qualitative approach, using learning materials designed as an inquiry-based learning cycle, and collecting data using pH sensors is good, as it enhances in students both interest and significant learning. This statement is based in the fact that students give priority in the concepts that they have worked during the session rather than in the laboratory tools that they have used to obtain data. Another finding that supports this conclusion is the fact that when students mention MBL equipment, they integrate it as a laboratory tool that helps them to progress in the sequence.

The data obtained show that students that have participated in the activity mention all the important concepts worked in the session, they give priority both to previously known concepts (pH) and to new ones (buffer solutions). This finding suggests that the activity has provided motivation for students to learn new concepts.

Six over ten students argued correctly what they would do to know if a solution is a buffer and the proportion of correct answers to the question is 90%. We consider the approach done as a positive one, taking into account the fact that this was a completely new concept for them. We have obtained that most of the answers are instrumental.

The first time that students are faced with real-time experiments' equipment (MBL), more that 70% of students are able to configure it correctly with no or very little help from teachers. This finding points out that this technology is suitable to be used at secondary and high school. This statement is supported by the fact that students incorporate it as a tool more to obtain experimental data.

