

Empleo de simulaciones en los laboratorios de química general: Percepciones de alumnos universitarios de primer curso

Fernández-César, R., Aguirre-Pérez, C.

Departamento de Matemáticas, Área de Didáctica de las Matemáticas; Departamento de Pedagogía, Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Castilla La Mancha.

Raquel.fcezar@uclm.es

RESUMEN

Este trabajo pretende analizar el efecto de la inclusión de simulaciones en la parte de laboratorio del curso de Química General en el campus de Madrid de la Universidad de Suffolk (Boston, EE.UU.). Se propone un diseño de curso de laboratorio mediante prácticas experimentales y simulaciones, y se analiza, con una muestra de tamaño medio, la influencia de las mismas en la actitud de los estudiantes y en su adquisición de conocimientos. Se valoran sendos aspectos con una encuesta mediante la observación de sus notas en la prueba final, respectivamente. Nuestros resultados muestran que se consigue una percepción más positiva por parte de los estudiantes que tienen habilidades visuales, pero que influye más positivamente en los resultados de aprendizaje de aquellos que no cursan carreras de ciencias.

Palabras clave

Simulaciones, laboratorio de química, alumnos universitarios, percepción del aprendizaje.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se centra en la modificación de la parte práctica del curso *General Chemistry* (Química General) de 4 créditos, conocida como *Chemistry Laboratory o Chem111Lab* (Laboratorio de Química General), que corresponde a 1 crédito de los 4 totales del curso. Esta asignatura se cursa en *Suffolk University, Madrid Campus*, donde se sigue el sistema educativo universitario estadounidense. Los alumnos de este campus provienen de países con distintos sistemas educativos y diferentes niveles iniciales en la asignatura que nos ocupa. Por lo tanto nuestros alumnos son tanto estudiantes de ciencias (de la salud o ingenierías) como de carreras no científicas.

Conseguir que alumnos de tan variadas procedencias educativas y con tan diversos intereses académicos se sientan atraídos por la asignatura es un desafío al que se enfrentan los profesores de estos cursos de Química General, y comprobamos en la bibliografía sobre el tema que es abordado de diferentes maneras en las clases teóricas (Woelk, 2008; Mazur, 1997; Kovac, 1999), y también en los laboratorios (Bailey et al., 2000).

Estudios previos acerca de la situación general en los laboratorios universitarios en España y en otros países occidentales (Tortosa y Gorchs, 2011), como EE.UU (Bopegedera, 2011), muestran que en los primeros cursos universitarios es frecuente que los profesores que se encargan de impartir las asignaturas de prácticas no sean especialistas en la carrera docente (*Teaching Assistant*). De esta forma, la impartición de estas asignaturas es poco cuidada, y la ejecución de experiencias se realiza siguiendo guiones pautados con actividades cerradas y su evaluación se centra en informes que muestran poco si el alumno aprende realmente. Se puede tener la sensación de que el alumnado sigue el protocolo de laboratorio como si se tratase de una receta, respondiendo a las cuestiones de los informes de una manera mecánica más que razonada.

La propuesta de Bopegedera (2011), que él llama LCA (*Laboratory Centered Approach*) o Metodología Centrada en el Laboratorio, trata de actuar sobre este aspecto para evitar esta mecanización de resultados poniendo el laboratorio en el centro del aprendizaje.

Otra variante es la incorporación de laboratorios virtuales junto con experimentos reales. La conclusión aceptada por la mayoría de investigadores es que se consigue un mejor aprendizaje con el uso de ambos combinados en diferentes proporciones a lo largo de los cursos (Jaakkola y Nurmi, 2008; Jaakkola et al., 2010; Gire et al., 2010; Toth et al., 2009; Georgios y Zacharia, 2012), ya que con aquellos se adquieren habilidades psicomotoras, y estos permiten aprender a alumnos con distintas inteligencias (Sternberg et al, 2009). En lo que no hay acuerdo unánime es en cuál es la combinación o proporción óptima.

Nuestro trabajo presenta una combinación de ambos experimentos que ha dado buen resultado para el objetivo que se perseguía.

METODOLOGÍA

Nuestra experiencia se basa en el método de la investigación-acción: incluimos simulaciones en nuestro curso de laboratorio y analizamos el efecto que ello conlleva en los alumnos. El objetivo principal del trabajo realizado, pues, es recoger la impresión de los alumnos matriculados en el curso *General Chemistry* sobre cómo influyen las simulaciones introducidas en la parte de laboratorio en su aprendizaje, y compararla con la observación directa y la medición de esa mejora de una forma cuantitativa que consideramos más objetiva: la comparación de notas entre alumnos de ese mismo curso que no han tenido simulaciones con aquellos que sí las han tenido.

El análisis de la situación inicial y posterior mejora de las prácticas es abordado mayoritariamente en la bibliografía de investigación e innovación educativa mediante tres acciones: una de ellas la constituyen las opiniones de profesorado y alumnado acerca de la materia y las posibilidades de mejora, otro es el progreso de los tipos de guiones utilizados y actividades de evaluación, y la tercera es el estudio de la gestión de las actividades de aula.

Nosotros en este caso actuamos y recogemos la opinión de los estudiantes sobre la acción mediante una encuesta, por ser estas uno de los métodos más frecuentemente utilizados para este fin (Insausti, 1997; Cheung, 2008). El número de alumnos que se toma es el de los estudiantes matriculados en los últimos años en la asignatura que nos ocupa, que asciende a 105. De ellos el grupo control está constituido por los alumnos de los cursos 2008-2010, 75 alumnos, y el grupo experimental, aquellos de los cursos en los que incluimos las simulaciones (2010 - 2013), por 30 alumnos. A estos últimos, tras

finalizar todos los experimentos, se les pasa la encuesta preparada por los profesores y se analizan sus respuestas. Paralelamente, se comparan los resultados académicos obtenidos por los alumnos de sendos grupos para determinar si existe alguna mejora en los mismos.

Dentro de la muestra, no todos los alumnos serán científicos, solo un 53.3%; un 33.3% no estudiará ciencias y un 13.3% aún no ha elegido la carrera. Trataremos también de ver si la inclusión de las simulaciones influye en mayor o menor medida en estudiantes de alguno de estos tres grupos.

Las prácticas que componen el curso de laboratorio son las siguientes:

- 1- Mass measurements. (Medidas de masa)
- 2- Calibration of Glassware. (Calibración de aparatos de vidrio)
- 3- Preparation of solid reagent solutions-dilutions. (Preparación de disoluciones de soluto sólido-diluciones)
- 4- Observation and interpretation of chemical Change. (Observación e interpretación del cambio químico)
- 6- Acid base titration. (Titulaciones ácido-base)
- 7- Acid-base reactions: Heat of neutralization. (Reacciones ácido-base: calor de neutralización)

Simulación 1

- 8- Heat of combustion. (Calor de combustión)

Simulación 2.

Nuestra propuesta docente consiste en realizar de manera manual los experimentos 1-6, y mediante sendas simulaciones los experimentos 7 y 8. La razón es que técnicamente no aportan nada nuevo a los estudiantes y si propician cálculos a realizar con las medidas obtenidas. Consideramos que estos experimentos son los más adecuados para introducirlos en modo simulación porque entrañarían más dificultad para los alumnos al tener más variables experimentales y de cálculo que contemplar, y no va en detrimento de la adquisición de las habilidades manuales que ya han podido adquirir con los experimentos anteriores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La simulación que se emplea para la práctica de “calor de neutralización” se halla en la página del *Chemical Education Research Group, Department of Chemistry, Iowa State University* (EE.UU.), elaborada por el grupo del profesor Greenbowe y que se encuentra en el sitio web <http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/animationsindex.htm>

En esa página, en la sección de *Thermochemistry* (Termoquímica) encontramos *Heat of neutralization experiment version 2*, que es el que elegimos, y que está accesible en <http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/thermochem/calorimetry.html>. Estas simulaciones pueden descargarse desde esta otra página de uso libre, <http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/simDownload/index4.html#thermoChem>, y donde los creadores solo piden que se les envíe un mensaje de correo electrónico cuando se use su material, y que se haga constar que ha sido elaborado por ellos.

Se puede elegir el ácido y la base a neutralizar, el volumen y la concentración de las disoluciones, y medirse la temperatura para determinar el incremento de la misma.

Para el experimento 8 se elige la simulación que se encuentra en esa misma página web en el apartado de *Stoichiometry* (Estequiometría) y que se llama *Combustion reactions of hydrocarbons with oxygen gas and limiting reagent* (reacciones de combustión de hidrocarburos con oxígeno gas y reactivo limitante), accesible en http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/stoichiometry/stoic_select_both.html.

En ella se puede elegir el hidrocarburo que se emplea como combustible, la cantidad de cada reactivo que se pone en la reacción, y nos da también la información sobre cuál es el reactivo limitante y cuál está en exceso. Además, nos muestra precisamente cuál es el aparataje necesario para realizar este tipo de experimentos, y con el que no se cuenta en nuestro laboratorio. Por ello no se tenía un guion de prácticas elaborado y se prepara para la ocasión.

La encuesta que se elabora es preparada para la ocasión y tiene 7 preguntas que se responden en una escala tipo Likert de 1 a 5, desde totalmente de acuerdo (1) hasta totalmente en desacuerdo (5), pasando por ni de acuerdo ni en desacuerdo (3). Cada pregunta tiene también un apartado de comentarios o sugerencias, dejándola así abierta a la reflexión de los estudiantes sobre lo que se les pregunta. Se pasa al grupo de alumnos con una distribución porcentual similar a la habitual en estos cursos y anteriormente indicada. Los resultados obtenidos se detallan en la tabla siguiente:

Encuesta sobre empleo de simulaciones en el laboratorio de Química General	n	Máximo	Mínimo	Valoración media	Desviación típica	Rango
P.1: Las simulaciones me han ayudado.	30	5	1	2,06	0,88	4
P.2: Te han ayudado a entender las reacciones involucradas.	29	4	1	2,47	1,02	3
P.3: Son más útiles que los ejercicios numéricos.	29	5	1	2,03	0,95	4
P.4: Has entendido las reacciones ácido-base cualitativamente.	29	4	1	2,13	0,92	3
P.5: Has entendido las reacciones ácido-base cuantitativamente.	29	4	1	2,23	1,02	3
P.6: Has entendido cualitativamente las reacciones de combustión.	29	4	1	2,14	1,03	3
P.7: Has entendido cómo se trata el flujo del calor en las reacciones de combustión.	29	5	1	2,00	1,09	4

Tabla 1: Percepción de los estudiantes sobre los laboratorios realizados con simulaciones, curso General Chemistry Laboratory 2010-2011, 2011-2012 y 2012-2013 n=30. Valores medios de las respuestas del estudiantado (1 TA - 5TD)

Los valores medios bajos muestran percepción más positiva por parte de los alumnos, dada la formulación de las preguntas. Los valores medios de todas las preguntas están

cercanos a 2, lo que muestra que los estudiantes están de acuerdo con lo que les propone la pregunta.

A juzgar por esos datos, podemos decir que están de acuerdo en la pregunta 1, y consideran que las simulaciones les han ayudado; también están de acuerdo en que son más útiles que los ejercicios numéricos (pregunta 3), en que han entendido las reacciones ácido-base cualitativamente (pregunta 4), en que han entendido las reacciones ácido-base cuantitativamente (pregunta 5), en que han entendido las reacciones de combustión (pregunta 6), así como cómo tratar el flujo de calor en estos tipos de reacciones (pregunta 7).

La segunda pregunta es la única que presenta un valor medio más cercano a 3, ni de acuerdo ni en desacuerdo, por lo que es en la que los estudiantes muestran una actitud más neutra. Es verdad que es neutro el valor medio en esta pregunta, pero los resultados muestran la variedad de percepción de los alumnos ya que hay algunos que han contestado en desacuerdo (4) y otros totalmente de acuerdo (1). Eso nos hace ver que hay disparidad de opiniones, y que puede encontrarse una aclaración a este punto con las observaciones y comentarios que también se incluyen en cada pregunta. Respecto a la desviación típica, indicador de la dispersión de los datos, la pregunta que más uniforme muestra la respuesta en torno al valor medio es la primera, es decir, que los estudiantes están de acuerdo en que las simulaciones les han resultado útiles para entender los conceptos que trataban. Sin embargo, el rango, medida estadística que se calcula como diferencia entre el valor mayor y el menor de una colección de datos dada, es máximo en esta pregunta, lo que quiere decir que hay alumnos que las consideran de mucha ayuda, y también otros que no las consideran de ayuda en absoluto.

Los comentarios/sugerencias que repiten los estudiantes se muestran en la tabla 2, donde en *Frecuencia* se recoge las veces que los repiten.

Comentarios:	Frecuencia
Entiendo mejor las reacciones después de usar la simulación.	3
Me permiten entender por qué hacemos algunos cálculos en problemas.	3
Son de mucha ayuda y aprendo mejor los conceptos.	5
Son más exactas porque no interviene el error humano.	3
No las entiendo al principio.	2
Nunca son tan útiles como los experimentos reales.	3

--	--

Tabla 2. Comentarios y frecuencia de las sugerencias aportadas por los alumnos.

A pesar de que son pocos alumnos los que incluyen observaciones y el número de estas no nos permite generalizar, las mostradas en la tabla 2 nos permiten concluir que la simulación por sí sola no ayuda al estudiante, pero cuando esta se acompaña de un guion y de la ayuda en la dirección de su uso del profesor, acaba siendo muy útil para el aprendizaje, y así lo muestran los estudiantes en sus respuestas. También opinan que la simulación no puede reemplazar por completo a un experimento real, pues al ejecutar este el estudiante pone en juego habilidades manuales que no usa en la simulación. No obstante, creemos que puede ocurrir que estudiantes poco habilidosos manualmente vean dificultado avanzar en su aprendizaje por no poder pasar esa fase manual, no necesaria en la simulación, lo que si les permite profundizar en las proporciones y cálculos en los que se quiera focalizar la atención, así como repetir los experimentos sin ninguna dificultad de implementación.

Finalmente se comparan los resultados en la prueba final de laboratorio, que se mantiene con la estructura que tenía, consistiendo en la realización de una práctica sencilla que involucra tanto la muestra de las habilidades psicomotoras en el manejo del material típico de laboratorio, como las habilidades de razonamiento y cálculo posterior a partir de unas medidas realizadas. Los resultados en esta prueba se muestran en la siguiente tabla en la que se han considerado los estudiantes del grupo control y experimental divididos en las categorías de Ciencias, No ciencias y No sabe, según su carrera elegida.

Cursos 2008-2010	Mínimo	Máximo	Media	Rango
Ciencias	6.0	9.5	8.3	3.5
No ciencias	4.5	7.5	6.5	3.0
No sabe	5.0	7.5	6.5	2.5
Cursos 2010-2013				
Ciencias	6.8	9.5	8.7	2.7
No ciencias	5.9	8.0	7.3	2.1
No sabe	5.0	7.7	6.8	2.7

Tabla 3: Comparación de resultados: notas mínimas, máximas y medias de los estudiantes de General Chemistry Lab en los últimos cuatro cursos. Las notas son sobre 10. Se incluye el rango como medida de dispersión.

Al observar esta tabla, detectamos que los alumnos de Ciencias han subido la nota media cuatro décimas; los que No saben si cursarán carreras de ciencias, suben tres décimas; y aquellos de la categoría No ciencias, obtienen una mejora más sustancial en la media, de 0.8. Podemos concluir, entonces, que han mejorado su rendimiento los estudiantes incluidos en las tres categorías, aunque en mayor medida estos últimos, al medirlo de manera cuantitativa, y todos han adquirido los conocimientos químicos que se persiguen con este curso. La media total ponderada, incluyendo las tres categorías de

estudiantes, en los primeros cursos es 7.2, mientras que en los segundos es algo más alta, 7.6, lo que soporta la afirmación anterior. Para afirmar esto se ha realizado en todos los valores un test t-student y podemos dar el 95% intervalo de confianza.

Con nuestros datos podemos asegurar que la percepción de los estudiantes de la inclusión de simulaciones en el curso de *General Chemistry Laboratory* es positiva y mejora tanto el rendimiento como la percepción que ellos mismos tienen de su propio aprendizaje, y creemos que también el aprendizaje real, medido con la nota del curso.

Se sabe que estos resultados no son generalizables en este momento, ya que se trata de un curso concreto y unos grupos de alumnos determinados, pero se pretende seguir realizando el mismo tipo de observaciones en el futuro para comprobar la reproducibilidad de esta mejora.

CONCLUSIONES

Se considera adecuado el diseño de un curso de laboratorio de química general para estudiantes de primeros cursos de universidad incluyendo tanto laboratorios ejecutados manualmente como simulaciones para que con los primeros alcancen habilidades psicomotrices y con los segundos adquieran habilidades de interpretación y análisis de orden superior.

Se propone el uso de la página web *animationindex* para el desarrollo de cualquier laboratorio virtual de química introductoria por sus características de gratuidad y riqueza de contenidos recogidos.

Con nuestro diseño del curso de laboratorio se ha conseguido mejorar el nivel de adquisición de conocimientos de los alumnos en general, y de los alumnos que no cursarán carreras de ámbito científico en particular (No ciencias).

El desafío está ahora en optimizar el proceso de enseñanza aprendizaje con nuestros medios materiales y humanos en los laboratorios de química introductoria de centros docentes con materiales escasos, y para los que las simulaciones y laboratorios virtuales son un buen apoyo. También en encontrar la proporción adecuada de laboratorios reales y virtuales que nos permita hacer que la visión de los estudiantes sobre su aprendizaje de química sea también óptima.

BIBLIOGRAFÍA

Bailey, C. A., Kingsbury, K., Kulinowski, K., Paradis, J., Schoonover, R. (2000). An Integrated Lecture-Laboratory Environment for General Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 77, 195–199.

Bopegedera, A.M.R.P. (2011). Putting the Laboratory at the Center of Teaching Chemistry, *Journal of Chemical Education*, 88,443-448.

Cheung, D. (2008). Facilitating chemistry teachers to implement inquiry-based laboratory work. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6, 1, 107-130.

Gire, E., Carmichael, A., Chini, J. J., Rouinfar, A., Rebello, S., Smith, G. (2010). The effects of physical and virtual manipulatives on students' conceptual learning about pulleys. In K. Gomez, L. Lyons, y J. Radinsky (Eds.), *Learning in the disciplines: Proceedings of the 9th international conference of the learning sciences (ICLS 2010) Vol I*, 937 – 944. Chicago: International Society of the Learning Sciences.

- Georgios, O., Zacharia, C. Z., (2012). Blending physical and virtual manipulatives: An effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation. *Science Education*, 96, 1, 21-47.
- Insausti, J.M. (1997). Análisis de los trabajos prácticos de química general en un primer curso de universidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 15,1,123-130.
- Jaakkola, T., y Nurmi, S. (2008). Fostering elementary school students' understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(4), 271 – 283.
- Jaakkola, T., Nurmi, S., y Veermans, K. (2010). A comparison of students' conceptual understanding of electric circuits in simulation only and simulation-laboratory contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 48, 71 – 93.
- Kovac, J. (1999). Student Active Learning Methods in General Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 76, 120–124.
- Mazur, E. (1997). *Peer instruction: A user's Manual*, Prentice Hall Incorporation, New Jersey, EE.UU.
- Sternberg, R.J., Jarvin, L., Grigorenko, E.L. (2009). *Teaching for Wisdom, Intelligence, Creativity and Success*. Corwin, EE.UU.
- Tortosa, M. y Gorchs R. (2011). Análisis de las prácticas de química de futuros ingenieros: propuestas de mejora efectivas en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), 531-549.
- Woelk, K. (2008). Optimizing the Use of Personal Response Devices (Clickers) in Large-Enrollment Introductory Courses. *Journal of Chemical Education*, 85, 1400–1405.