

¿Mejoran las simulaciones en los laboratorios de química el aprendizaje de los alumnos? Percepciones de alumnos universitarios de primer curso de Química General

Raquel Fernández-Cézar y Constancio Aguirre-Pérez

Facultad de Educación de Cuenca, Universidad de Castilla La Mancha (España). raquel.fcezar@uclm.es, constancio.aguirre@uclm.es

[Recibido en marzo de 2012, aceptado en septiembre de 2012]

El objetivo principal de esta acción didáctica es analizar, mediante la inclusión de simulaciones en la parte de laboratorio del curso “General Chemistry” en el campus de Madrid de la Universidad de Suffolk (Boston, EE.UU.), la influencia de las mismas en la adquisición de conocimientos por parte de los estudiantes, valorada mediante la percepción de esa influencia por los mismos estudiantes y por la observación de sus notas en la prueba final. Este trabajo muestra que se consigue una percepción más positiva de los estudiantes que tienen habilidades visuales, pero que influye más en la mejora del aprendizaje de aquellos que no cursan carreras de ciencias, en particular.

Palabras clave: laboratorio de química; simulaciones; alumnos universitarios; mejora del aprendizaje; percepción del aprendizaje.

Do they improve the simulations in chemistry labs for student learning? Perceptions of first-year university students of General Chemistry

The main purpose of this work is to analyze the perception of students enrolled in the General Chemistry Laboratory course at Suffolk University Madrid Campus on the improvement of their learning process through the inclusion of simulations in this lab course. This improvement will also be measured in a more objective way by means of the grades in the final exam. This report shows that a more positive perception is achieved in students with more visual skills, and that a more objective improvement is particularly observed in the grades of non science major students.

Key words: Chemistry laboratory; simulations; university students; learning improvement; learning perception.

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*, que es uno de los campus instalados en nuestro país en los que pueden cursarse estudios en el sistema educativo universitario estadounidense. Los alumnos de este campus no son solo de origen estadounidense o español, sino internacional, y tienen por lo tanto distintos niveles iniciales en la asignatura que nos ocupa al provenir de diversos sistemas educativos, ya que en algunos países los cursos de química en la formación preuniversitaria son obligatorios y en otros no. En el sistema educativo americano, sistema en el que está enmarcada esta universidad, tanto los alumnos de ciencias como los que no lo son tienen que tomar una asignatura obligatoria de ciencias con laboratorio. Nuestros alumnos son, por lo tanto, estudiantes de ciencias (de la salud o ingenierías) y/o 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. Para abordarlo exitosamente, los profesores optan por innovar en las metodologías con las que implementan sus clases. De esta forma, y como se recoge en la bibliografía, algunos profesores optan por el uso de clickers (Woelk, 2008) para conseguir despertar el interés en los alumnos en clases muy numerosas; otros por

añadir a los primeros el trabajo cooperativo y las explicaciones entre iguales (Mazur, 1997). Otros autores, como Kovac (1999), proponen el uso de los test conceptuales (*concept test*) para conseguir un aprendizaje activo por parte de los alumnos, también en grandes grupos. Y otros autores optan por mejorar las experiencias del laboratorio de química para que estas resulten atractivas a los estudiantes (Bailey et al, 2000) y les ayuden a adquirir los conocimientos y habilidades que se persiguen en el curso. En este último grupo se enmarca nuestro trabajo al modificar respecto a otros cursos anteriores la manera en la que desarrollan los laboratorios.

Fundamento teórico

Este trabajo se basa en el método de la investigación-acción: realizamos una serie de cambios en la manera de implementar los laboratorios en nuestro curso incluyendo simulaciones y analizamos el efecto que ello conlleva en los alumnos. Los datos que se recogen son referentes a su percepción sobre la inclusión de las simulaciones y a cómo creen ellos que influyen en su aprendizaje. También se analiza esta influencia mediante la comparación de las notas finales en tres cursos consecutivos.

Estudios previos acerca de la situación general en los laboratorios universitarios en España y en otros países occidentales (Tortosa, 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 en las que el profesor define el tema y dirige la acción de los estudiantes (Domin, 1999). Es también habitual que la evaluación del trabajo se base en informes escritos (Hofstein, 2004). Algunas veces 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. Este hecho queda reflejado en informes muy iguales por parte de alumnos que son muy diferentes, lo que hace dudar o de la autoría de los informes, o de la medida en que estos reflejan la comprensión de lo tratado.

Se han encontrado acciones similares a la nuestra en la propuesta de Bopegedera (2011), que él llama LCA (*Laboratory Centered Approach*) o Metodología Centrada en el Laboratorio. Mientras que en su trabajo propone la preparación de sus guiones de laboratorio para cada práctica, en nuestro caso se ha optado por emplear los mismos que estábamos usando en cursos anteriores, para tener más controladas las variables que puedan influir en los resultados finales.

Otra variante no contemplada en el trabajo antes mencionado, y que nosotros incluimos, es la ejecución de laboratorios virtuales por los alumnos. Sobre el uso de laboratorios virtuales, experimentos reales, y la combinación de ambos existen realizados muchos estudios. 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: bien de manera secuencial realizando el mismo experimento de una y otra forma (Jaakkola y Nurmi, 2008; Jaakkola et al., 2010), o bien utilizando experimentos reales o virtuales para distintos conceptos químicos (Gire et al., 2010; Toth et al., 2009; Zacharia et al., 2008; Georgios, 2011). En lo que no hay acuerdo unánime es en cuál es la combinación o proporción óptima en aras de conseguir un mejor aprendizaje de los conceptos por parte de los alumnos. Sí se considera aceptado que son complementarios las habilidades y los conocimientos que permiten alcanzar a los estudiantes cada uno de los modelos de laboratorio.

Las ventajas que en la bibliografía sobre este tema se le reconocen a los primeros (Balamuralithara et al, 2009, Hofstein y Lunetta, 2004) son principalmente tres: que permiten

adquirir habilidades psicomotoras; que hacen ser conscientes de la necesidad de seguir los protocolos de seguridad; y que promueven el aprendizaje a través de la observación. Las que se les reconocen a los segundos (Windschitl, 2000; Winn et al, 2006) son variadas, y entre ellas se destacan las siguientes: permiten la simplificación de los modelos del mundo real, por lo que transforman los fenómenos en más visualizables para los estudiantes acomodándose a los distintos niveles individuales de adquisición de conocimientos; permiten elaborar hipótesis y probar su validez en un corto espacio de tiempo; posibilitan el aprendizaje mediante preguntas; proporcionan mucha información y representaciones múltiples (verbal, numérica, conceptual, visual, gráfica) concediendo aprender a alumnos con distintas inteligencias (Sternberg et al, 2009); acceden a repetir inmediatamente el experimento y focalizar la atención de los estudiantes en el fenómeno a aprender; y realizar experimentos que de otra forma sería imposible llevar a cabo de manera real, ya sea por el coste económico, o bien por las medidas de seguridad necesarias.

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 sobre la primera y recogemos la impresión de los estudiantes sobre cómo mejora su aprendizaje la acción llevada a cabo, y los comparamos con los resultados de sus notas, que serían un instrumento de medida más objetivo para la medida de esa mejora en su aprendizaje. En la primera parte se emplean encuestas. Las encuestas son uno de los métodos frecuentemente utilizados para tener información sobre las opiniones tanto de profesores como de alumnos (Insausti, 1997; Cheung 2008).

Los guiones que empleamos van acompañados de unas preguntas previas al desarrollo de la práctica (*prelab questions*) y otras a contestar al final de la misma, para guiarles hacia las conclusiones (*post lab questions*). Así mismo, los laboratorios se realizan en parejas o grupos de tres como máximo, facilitando la interacción entre los estudiantes y entre ellos y el profesor.

Objetivos y descripción de la situación inicial

El objetivo principal del trabajo realizado 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.

La situación inicial que observamos como consecuencia de que llevamos impartiendo este curso en el centro durante doce años es que este curso es elegido tanto por estudiantes de carreras científicas como de no científicas, y lo que vemos es que hay alumnos que son brillantes en la clase teórica de la asignatura, y no lo son tanto en la parte práctica o de laboratorio. Principalmente esto ocurre con estudiantes que ya han decidido hacer una carrera no científica aunque también hay algunos que eligen carreras de ciencias que están en una situación similar. Intentar mejorar esta situación ayudando a estos estudiantes con el diseño del curso de laboratorio constituye nuestra motivación para realizar esta acción.

Esta asignatura de Química General se imparte en el campus de Madrid de la Universidad de Suffolk (Boston, EE.UU.). Como ya se ha dicho, es una asignatura de 4 créditos de los cuales 1 corresponde al laboratorio. Se imparten las clases de teoría en dos sesiones semanales de una

hora y media de duración, y el laboratorio en una sesión a la semana de 3 horas de duración, como máximo. Los grupos de alumnos no son numerosos, estando el máximo en 10 alumnos. En los grupos con los que se ha hecho el estudio se cuenta con ese número de alumnos, 10, y tenemos dos grupos. Por lo tanto la muestra tiene un tamaño medio de 20 alumnos. Las prácticas que componen el laboratorio son las siguientes:

1-*Mass measurements*. (Medidas de masa)

Descripción: Se muestra la diferencia entre masa y peso y se pide obtener la masa de reactivos sólidos, en polvo y líquidos en balanzas con distinta precisión: digital y analítica. Se obtienen las masas de los reactivos mediante pesada del contenedor y conjunta, y mediante la función tara de la balanza, para observar la diferencia.

2-*Calibration of Glassware*. (Calibración de aparatos de vidrio)

Descripción: Se calibran distintos utensilios para medir volumen (pipeta y matraz aforado de 100mL) mediante pesada de distintos volúmenes medidos con estos utensilios. Se aplica el test Q a los resultados para determinar la precisión del calibrado.

3-*Preparation of solid reagent solutions-dilutions*. (Preparación de disoluciones de soluto sólido-diluciones)

Descripción: Se emplean las técnicas aprendidas en los dos laboratorios anteriores para obtener una masa determinada de un reactivo sólido en polvo y el volumen necesario para preparar una disolución de concentración (molaridad) dada. También se procede a realizar una dilución desde disolución comercial a una concentración pedida. En ambos casos se realizan primero los cálculos necesarios para determinar la cantidad de soluto sólido y de reacción más concentrada, respectivamente.

4-*Observation and interpretation of chemical Change*. (Observación e interpretación del cambio químico)

Descripción: Se analizan cualitativamente distintos tipos de reacciones utilizando la observación y prediciendo/comprobando lo que ocurre mediante la ecuación iónica neta.

5-*pH measurements*. (Medidas de pH)

Descripción: Se emplea un pH-metro de campo para tomar medidas del pH de distintas sustancias, recalando que deben estar en disolución para poder medirlo, y se calcula también la concentración de iones H⁺ en disolución.

6-*Acid base titration*. (Titulaciones ácido-base)

Descripción: Se titula biftalato de potasio, un ácido débil, de concentración desconocida, con sosa 1M. Se emplea como indicador la fenolftaleína. Se repite el procedimiento varias veces y se toma la media y se calcula la desviación típica.

7-*Acid-base reactions: Heat of neutralization*. (Reacciones ácido-base: calor de neutralización)

Descripción: ver [anexo 1](#).

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

Descripción: ver [anexo 2](#).

Nuestra propuesta docente consiste en realizar de manera manual los experimentos 1-6, y en modo simulación los experimentos 7 y 8. En estos experimentos se combinarían, si se hicieran manualmente, técnicas que ya se han puesto en práctica al ejecutar los experimentos 1-6, y además 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 tenido posibilidad de adquirir en los experimentos anteriores.

En los cursos anteriores se realizaban estas mismas prácticas de forma manual, excepto la 8, por no contar con el instrumental necesario ni con las medidas de seguridad precisas en el laboratorio para el desarrollo de la misma.

Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos, se plantea actuar en las siguientes fases:

Fase 1: Se busca en el archivo del centro los alumnos y sus notas de los años que se lleva impartiendo este curso, dividiéndolos en subgrupos según los estudios que realizan: carrera científica, no científica, y no sabe aún cuál realizará, para detectar, si la hubiera, diferencia entre los estudiantes pertenecientes a cada uno de ellos.

Fase 2: Se seleccionan las prácticas que se desarrollarán en el laboratorio como experimento real y cuáles con laboratorio virtual. Para elegir estas últimas, se realizan búsquedas de simulaciones en internet que sirvan para realizar las dos últimas prácticas que se hacen en este curso, y se plantea su ejecución como sugieren de Jong y Njoo (1992), proporcionando al estudiante un guion que debe seguir, tutorizado por el profesor,

Fase 3: Se elabora una encuesta que se pasa a los alumnos y se analizan sus respuestas respecto a su percepción sobre su aprendizaje.

Fase 4: Se comparan los resultados académicos de los alumnos en esta asignatura de los alumnos del curso 2008-2010 con los de los cursos en los que incluimos las simulaciones, el 2010-2011 y 2011-2012, para observar, si existiera, una mejora en los mismos en relación con las categorías de alumnos establecidas en la fase 1.

Resultados y discusión

Para realizar la fase 1 se cuenta con el registro del centro de todos los alumnos en los últimos años matriculados en la asignatura que nos ocupa que asciende a 105 alumnos. Se realiza un análisis de alumnos y carreras (*major*) para las que se preparan, con el fin de saber si la que cursa el alumno es de ámbito científico o no. Al ser esta una asignatura que se elige en el primer curso, *Freshman year*, algunos alumnos no tienen claro aún qué van a hacer, por lo que es pertinente la inclusión de un apartado “No sabe”. Las categorías elaboradas son, por lo tanto, Ciencias, No ciencias, y No sabe, y el porcentaje medio de alumnos en cada una se muestra en la figura 1.

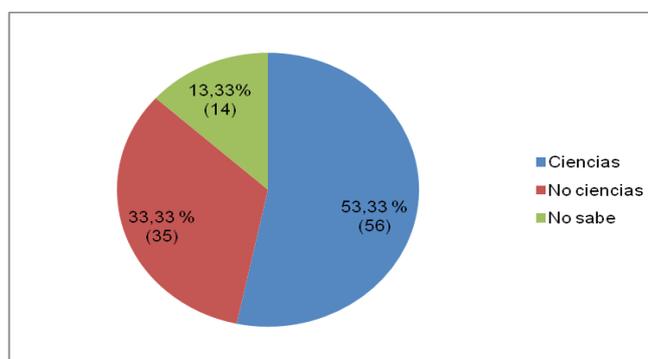


Figura 1. Número y porcentaje promedio de alumnos en los cursos 2000-2012 que cursan carreras de ciencias, de no ciencias y no saben.

En la fase 2 se decide realizar las prácticas de la 1 a la 6 en el laboratorio de química, permitiendo que los alumnos adquieran las habilidades psicomotoras necesarias para manejarse en el mismo, tales como: medidas de masa con balanzas digitales y analíticas, medidas de volumen, combinación de ambas y de los cálculos necesarios para preparar una disolución de una concentración (molaridad) dada desde un reactivo sólido, o una dilución desde otra disolución de mayor concentración, diferenciar entre cambio químico y cambio físico y entre distintos tipos de reacciones químicas; y, por último, procesos de titulación.

Los experimentos 7 y 8 se realizan mediante simulaciones, ya que las habilidades psicomotoras que se usan son las ya adquiridas en los experimentos del 1 al 6, y así se pone el énfasis en análisis cuantitativos realizados más allá de aquellas, como el calor de neutralización y el calor de combustión, y también en la incidencia en la idea del reactivo limitante, que es otro de los conceptos que suele ser de difícil manejo.

Se ha investigado en internet para encontrar simulaciones que nos permitieran implementar estos laboratorios, y de las encontradas hemos seleccionado dos páginas web por razones pedagógicas: *animationindex*, de *Iowa State University*, y la página de simulaciones interactivas del grupo PhET de investigación en didáctica de ciencias en *University of Colorado at Boulder*.

Se elige implementar la práctica de calor de neutralización, mediante la simulación que se halla en la página del *Chemical Education Research Group, Department of Chemistry, Iowa State University* (EE.UU.), 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.

La práctica a la que nos referimos tiene un tutorial o guion de laboratorio incluido, pero en nuestro caso empleamos el que se ha venido usando anteriormente por nosotros, ligeramente modificado para dirigir hacia el uso de la simulación, y hacia el empleo del software de Excel para mostrar los gráficos de los datos que se obtienen. Los datos relativos al mismo se incluyen en el [anexo 1](#).

Esta página web ha sido elaborada por el grupo del profesor Greenbowe, y en ella se encuentra no solo esta simulación, sino muchas otras relativas a diversos temas de química introductoria, desde estequiometría a reacciones red-ox y electroquímica, pasando por las leyes de los gases, termoquímica, reacciones ácido-base y equilibrio químico. La figura 2 muestra la pantalla con la simulación concreta.

Para trabajar con ella, 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, y cuya pantalla se muestra en la figura 3.

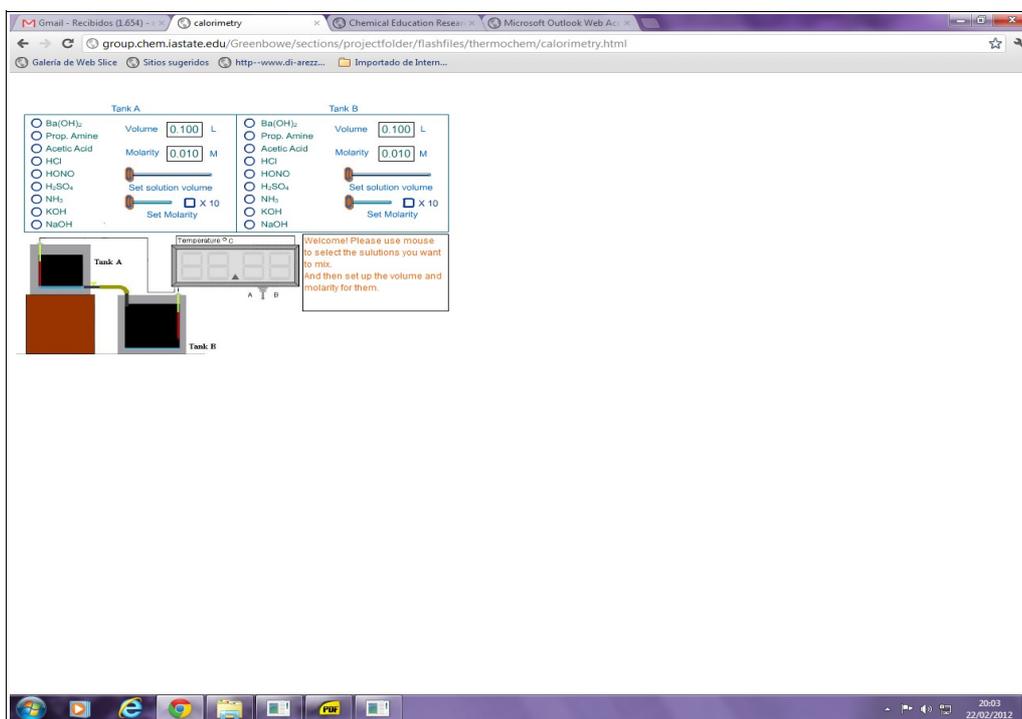


Figura 2. Pantalla desde en la que se trabaja con la simulación: Heat of neutralization.

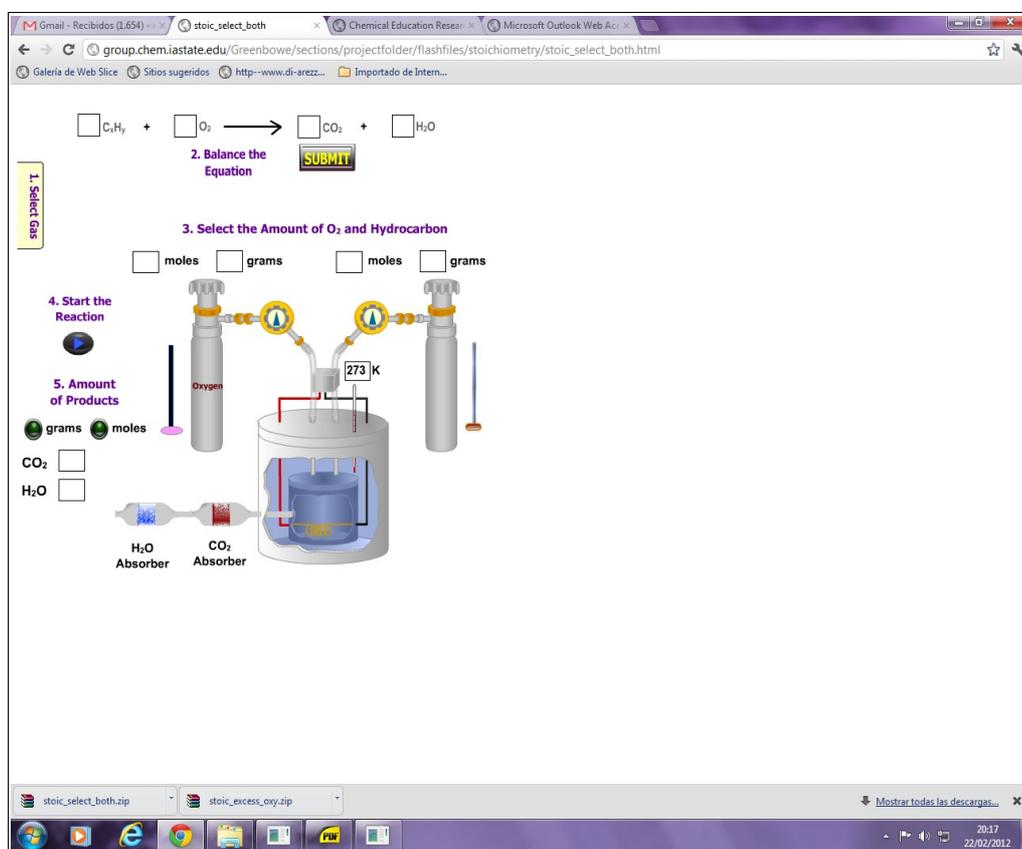


Figura 3. Pantalla desde la que se trabaja con la simulación: Combustion Reactions.

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, así como la forma en la que se aportan gases a una reacción y cómo se mide la cantidad mediante la presión. En este caso el laboratorio es nuevo y no se había realizado antes por no contar con el aparataje adecuado. Por ello no se tenía un guion de prácticas elaborado y se prepara para la ocasión. Se muestra el mismo en el [anexo 2](#).

Se han visitado otras páginas, y entre ellas destacamos la del grupo de investigación de la Universidad de Colorado en Boulder, accesible en <http://phet.colorado.edu/en/simulations/index>, donde pueden encontrarse simulaciones para física, química, biología y matemáticas, pero que no nos han parecido adecuadas para implementar nuestros laboratorios.

En la fase 3 la encuesta que se elabora es preparada para la ocasión y tiene 7 preguntas que se responden en una escala 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 compuesto por 10 alumnos, con una distribución porcentual entre estudiantes de carreras de Ciencias, estudiantes de No ciencias, y que No saben qué estudiarán similar a la mostrada en la figura 1. Eso supone que, a priori, las sesiones de laboratorio no les resultarán muy atractivas casi al 50% de los estudiantes, tanto a los estudiantes de No ciencias como a los que están en la categoría No sabe, y esperamos con la inclusión de las simulaciones motivarlos de alguna manera para que adquieran mejor los conocimientos, y para que sientan que los adquieren.

Para detectar esa sensación personal de si aprenden más o más fácilmente, se elabora una encuesta. Dicha encuesta completa se incluye en el [anexo 3](#), y los resultados obtenidos al pasar la misma a los estudiantes se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Percepción de los estudiantes sobre los laboratorios realizados con simulaciones, curso *General Chemistry Laboratory* 2010-2011 y 2011-2012, n=20. Valores medios de las respuestas del estudiantado (1 TA – 5TD).

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.	20	5	1	2,06	0,88	4
P.2: Te han ayudado a entender las reacciones involucradas.	19	4	1	2,47	1,02	3
P.3: Son más útiles que los ejercicios numéricos.	19	5	1	2,03	0,95	4
P.4: Has entendido las reacciones ácido-base cualitativamente.	19	4	1	2,13	0,92	3
P.5: Has entendido las reacciones ácido-base cuantitativamente.	19	4	1	2,23	1,02	3
P.6: Has entendido cualitativamente las reacciones de combustión.	19	4	1	2,14	1,03	3
P.7: Has entendido cómo se trata el flujo del calor en las reacciones de combustión.	19	5	1	2,00	1,09	4

En la encuesta se asigna 1 a totalmente de acuerdo (TA), 2 a de acuerdo (A), 3 a ni de acuerdo ni en desacuerdo (NA/ND), 4 a en desacuerdo (D) y 5 a totalmente en desacuerdo (TD), por lo que 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 cualitativamente* (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 (ver [anexo 3](#)).

En cuanto 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.

Dado que en cada pregunta se incluía un apartado de comentarios/sugerencias, nos ha permitido que los estudiantes aclararan el por qué de cada una de sus respuestas, o añadir otros comentarios que ellos pensaban que eran pertinentes sobre el empleo de las simulaciones. De estos comentarios/sugerencias, se muestran los más representativos en la tabla 2, separados en apartados de consideraciones positivas, negativas, neutras, y algún otro comentario que hacen pero que no es pertinente considerar en este estudio (N/A).

Tabla 2. Comentarios y sugerencias aportadas por los alumnos del curso 2010-2011 y frecuencia de las mismas.

Consideraciones	Frecuencia
Positivas:	
Entiendo mejor las reacciones después de usar la simulación.	3
Permiten visualizar los procesos que tienen lugar en las reacciones.	1
Me permiten entender por qué hacemos algunos cálculos en problemas.	3
Son de mucha ayuda y aprehendo mejor los conceptos.	5
Simulaciones son útiles cuando te enfrentas a un concepto por primera vez.	1
Son más entretenidas que los experimentos reales.	1
Son más exactas porque no interviene el error humano.	3
Neutras:	1
Me gustan las simulaciones en las clases teóricas pero no en lugar de los laboratorios reales.	
Negativas:	
No las entiendo al principio.	2
No son de ayuda para estudiantes que no tienen habilidad visual.	1
Nunca son tan útiles como los experimentos reales.	3
Los experimentos reales ponen en juego muchos más sentidos que las simulaciones	1
N/A:	
El curso es muy complicado para ser un curso introductorio de Química	1

La percepción de los alumnos muestra que las observaciones que hacen están dentro de las sugeridas por algunos autores en la bibliografía sobre el tema (Winn et al, 2006), como que nunca reemplazan al experimento real ni proporcionan exactamente la misma experiencia sensorial. No obstante, podemos decir que la impresión general que extraemos de las observaciones es bastante positiva. Si analizamos primero las consideradas positivas, por la frecuencia de las mismas vemos que la que más se repite es “Son de mucha ayuda y aprehendo mejor los conceptos”, que lo hace 5 veces, lo que supone un 25% del total de estudiantes que contestan la encuesta. Le siguen “Entiendo mejor las reacciones después de usar la simulación”, con un 15%, y “Me permiten entender por qué hacemos algunos cálculos en problemas” y “Son más exactas porque no interviene el error humano”, cada una con el mismo porcentaje que la anterior. El resto solo aparecen una vez por lo que no las comentamos.

De las encuadradas como negativas destacamos también las más repetidas, “No las entiendo al principio”, que se repite 2 veces, y “Nunca son tan útiles como los experimentos reales”, que se repite 3 veces.

A pesar de que son pocos alumnos los que incluyen observaciones y el número de estas no nos permite generalizar, de las mostradas en la tabla 2 podemos 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 coincidimos con lo que alguno de ellos dice, 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.

Solo queremos destacar en este aspecto que el experimento número 8 no habría podido realizarse de no haber sido con la simulación, dado que no contamos ni con calorímetros precisos ni con el aparataje necesario para llevarla a cabo en nuestro laboratorio. Actualmente, dadas las limitaciones de espacio y presupuesto que tienen algunos centros, pensamos que es una opción válida para ampliar el espectro de experiencias que se ofrecen en los cursos de laboratorio.

En la fase 4, 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, han sido mejores de lo que se esperaba a juzgar por la percepción del profesor en la previa que se hace a mediados de curso, antes de haber realizado los experimentos con simulaciones, y también mejor que los correspondientes al curso anterior, 2009-2010. Estos resultados se muestran en la tabla 3.

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.

Como medida de dispersión se incluye el rango, que se considera más adecuada que la desviación típica por ser relativa a valores reales, y también se ve que disminuye en los tres grupos de estudiantes en los cursos 2010-2012 al compararlos con los cursos anteriores, y eso indica más uniformidad en los resultados.

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.

		Mínimo	Máximo	Media	Rango
Cursos 2008-2010	Ciencias	6	9,5	8,3	3,5
	No ciencias	4,5	7,5	6,5	3
	No sabe	5	7,5	6,5	2,5
Cursos 2010-2012	Ciencias	6,8	9,5	8,7	2,7
	No ciencias	5,9	8	7,3	2,1
	No sabe	5,0	7,7	6,8	2,7

Enlazando los resultados de la fase 3 con los de la fase 4, 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. Particularmente influye en mayor medida en los estudiantes de No ciencias, que consideramos a priori menos motivados para el estudio de las ciencias, por lo que consideramos el resultado especialmente positivo.

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 y determinar si hay otras variables didácticas a modificar en el curso de laboratorio de química que pudieran contribuir positivamente al aprendizaje de los estudiantes.

Conclusiones

De todo lo expuesto obtenemos las siguientes conclusiones:

Se considera adecuado incluir simulaciones en los cursos de laboratorio de química siempre que no vayan en detrimento de la adquisición de las habilidades psicomotoras que se deben alcanzar con laboratorios ejecutados manualmente. Por eso nos parece pertinente realizar una combinación de los mismos adecuada y reemplazar por simulaciones aquellas prácticas que involucren habilidades manuales que hayan sido desarrolladas con otros experimentos, o que vayan a serlo. No es tan crítica la secuencia temporal como la inclusión de ambos tipos de experimento para hacerlos accesibles y entendibles a estudiantes con habilidades variadas y distintas inteligencias (creativa, práctica, analítica, visual, etc.).

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.

Se ha recogido y analizado la percepción de los estudiantes sobre la inclusión de simulaciones y hemos observado que su percepción de su propio aprendizaje mediante simulaciones es positiva, aunque no por ello exenta de recomendaciones para conseguir mejorar el curso, que tendremos en cuenta en futuras ediciones del mismo.

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), al incluir laboratorios virtuales como parte de nuestro curso de laboratorio de química, y se ha medido de manera objetiva con los resultados de la prueba examen.

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 no punteros científicamente hablando, 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.

Referencias

- 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.
- Balamuralithara, B., y Woods, P. C. (2009). Virtual laboratories in engineering education: The simulation lab and remote lab. *Computer Applications in Engineering Education*, 17, 108–118.
- 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.
- deJong, T., y Njoo, M. (1992). Learning and instruction with computer simulation: Learning processes involved. In E. de Corte, M.C. Linn, H. Mandl, y L. Verschaffel (Eds.), *Computer-based learning environments and problem solving*, 411–427. Berlin: Springer-Verlag.
- Domin, D.S. (1999). A review of laboratory instruction styles. *Journal of Chemical Education*, 76, 4, 543-547.
- 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)*. 1, 937–944. Chicago: International Society of the Learning Sciences.
- Georgios, O., Zacharias, 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.
- Hofstein, A., y Lunetta, V. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88, 28–54.
- Hofstein, A. (2004). Contributions of educational research to the practice of chemistry education. *Laboratory and Practical Work Research and Practice*, 5, 3, 247-264.
- 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.
- Windschitl, M. (2000). Supporting the development of science inquiry skills with special classes of software. *Educational Technology Research and Development*, 48, 81–95.
- Winn, W., Stahr, F., Sarason, C., Fruland, R., Oppenheimer, P., y Lee, Y.L. (2006). Learning oceanography from a computer simulation compared with direct experience at sea. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 25–42.
- Woelk, K. (2008). Optimizing the Use of Personal Response Devices (Clickers) in Large-Enrollment Introductory Courses, *Journal of Chemical Education*, 85, 1400–1405.

Anexo 1: Guía de laboratorio para la práctica 7.

Heat of neutralization

Student name:.....

Go to <http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/animationsindex.htm>

And then to the third simulation in Thermochemistry section.

You can also go directly to:

<http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/animationsindex.htm>

Become familiar with different acids and bases.

Purpose.

Estimate the heat of neutralization for the reaction of NaOH and HCl.

Introduction:

Consider the neutralization of hydrochloric acid (HCl) and sodium hydroxide (NaOH) solutions as shown in the following equation:



Neutralization reactions are exothermic, that is, energy is released in the form of heat. Heat of neutralization (ΔH_{neut}) is tabulated per mole of reacting substance, and is expressed either in KJ/mol or in Kcal/mol.

Use the simulation with this example and make sure you know how to execute the different measurements and why.

Example: Determine the ΔH_{neut} acid of nitric acid, HNO_3 , with NaOH solution. For it, mix 50mL of 1.0M HNO_3 and 50 mL of 1.0M NaOH. Assume that the temperature of both solutions before mixing them is the same and equal to 23.1°C, and that you measure the temperature while mixing and after and the maximum recorded is 29.4°C. The heat capacity of the reaction mixture is 3.89J/g-°C and the density of the solutions is 1.04g/mL.

Solution: Use the equation (heat released, J) = (total volume of the solution, mL)x(density of the solution, g/mL)x (specific heat capacity of solution, J/g-°C)x($T_{\text{final}} - T_{\text{initial}}$, °C)

$$\Delta H_{\text{neut}} = V_{\text{total}} \times d_{\text{sol}} \times c_{\text{sol}} \times \Delta T \quad (1)$$

$$\Delta H_{\text{neut}} = (100\text{mL}) \times (1.04\text{g/mL}) \times (3.89\text{J/g-}^\circ\text{C}) \times (29.4 - 23.1)^\circ\text{C} = 2.57 \times 10^3 \text{ J}$$

From eq (a), Number of moles (acid) = Number of moles (base) = $V(\text{acid/base}) (\text{L}) \times \text{Molarity} \quad (2)$

$$\text{Number of moles} = 50 \times 10^{-3} \text{ L} \times 1\text{M} = 5 \times 10^{-2} \text{ moles}$$

To get heat per mole, divide the result of (1) by the result of (2).

$$\Delta H_{\text{neut}}/\text{mole} = 51.5 \times 10^3 \text{ J/mol}$$

Procedure:

1. Use 1M HCl and 1M NaOH.
2. Chose 20mL of HCl and 20 of NaOH.
3. Record the initial temperature.
4. Mix the solutions and record the evolution of temperature with time for 8 minutes each 30s until minute 4 and each minute after.
5. Plot the graph on an Excel sheet and extrapolate maximum temperature reached. Record this value.
6. Change volumes by 5mL up to 50mL and repeat steps 3 to 5 for each.
7. Calculate the ΔH_{neut} /mole for each chosen volume as in the previous example.
8. With the collection of calculated heats, obtain the mean and standard deviation by using Excel.
9. Compare the mean value with the tabulated in the handbook of chemical physics in the lab.

Sign of student.

Anexo 2: Guía de laboratorio para la práctica 8.

Chemistry laboratory Reactions: Combustion

Student name:

A. Introduction.

When substances take part in a chemical reaction, atoms rearrange to form other substances. The substances that react are called **reactants**, those obtained are called **products**, and an **arrow** (\rightarrow) is used to indicate the direction in which the reaction takes place.

Combustion reaction is a kind of reactions used to get energy because heat is one of the products. Reactions in which heat is released are called EXOTHERMIC reactions. Not only fuels are combusted to produce energy in engines, also carbohydrates are combusted in our body too, and energy is obtained for our movements and other internal actions. Fats are first stored and only spent when carbohydrates are spent.

Combustion reactions are used to determine with high precision the heat released and therefore to know the most efficient fuel, or the calories contribution in nutrition. The set up needed is very, very expensive and only some research laboratories can afford it.

B. Procedure: To perform a combustion reaction follow the next steps:

- Go to http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/stoichiometry/stoic_excess_ox.html
- Click on step 1 and select the hydrocarbon.
- Write the chemical equation with formulas and put below the names of the reactants and products.
- Identify in your data sheet reactants and products for each case
- Predict the coefficients of your balanced equation, and then check with the simulation.

Hydrocarbon 1:

Hydrocarbon 2:

Hydrocarbon 3:

General hydrocarbon:

- Look at the products. What do they have in common these four reactions?
- Why do you think the temperature is measured?

- Taking into account the two previous questions, what conclusion/conclusions can you reach about combustion reactions?

- Regarding the setup components, draw it in your data sheet (or copy and paste the image). Could you name them? Do some internet research if needed, or/and ask your instructor if needed.

- Taking into account the labs performed (how to measure mass and how to measure volume) and the information that you have in this course, could you determine how much of a gas you put in a reaction? Can you measure the volume with any of the introduced volume devices, or the mass with a balance? Argue your answer.

- Research on the internet/book on how to measure the amount of substance when it is in the gas phase. Ask your instructor if needed (chapter 5 of the text book deals with gases).

- Click on http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/gaslaw/boyles_law_graph.html to clarify this issue.

- Observations/ conclusions on this laboratory.

Sign of student.

Anexo 3: Encuesta que se pasa a los estudiantes.**Questions on teaching with simulations:**

Degrees of agreement: 1 (TA: total agreement) 2(A: agreement) 3(N: Neutral) 4 (D: Disagreement) 5 (TD: Total disagreement)

1. Have you found the simulations helpful?

1 2 3 4 5

Comments/ Suggestions:

2. Has it contributed to your understanding of these reactions?

1 2 3 4 5

Comments/ Suggestions:

3. Do you find simulations more understandable than numerical exercises or questions?

1 2 3 4 5

Comments/ Suggestions:

4. Have you properly understood acid-base reactions qualitatively by means of this simulation?

1 2 3 4 5

Comments / Suggestions:

5. Have you properly understood acid-base reactions quantitatively by means of this simulation?

1 2 3 4 5

Comments / Suggestions:

6. Have you properly understood qualitatively combustion reactions by means of this simulation?

1 2 3 4 5

Comments / Suggestions:

7. Have you properly understood how heat evolution is measured in combustion reaction experiments.

1 2 3 4 5

Comments / Suggestions:

General observations:

Advantages and disadvantages of the use of simulation instead of, (or combined with) lectures

Advantages and disadvantages of the use of simulation instead of performing the laboratory experiment.