

Re-creando simulaciones con la hoja de cálculo

Andrés Raviolo*

ABSTRACT (Re-creating simulations with spreadsheets)

This paper extends the didactic applications of spreadsheet in chemistry teaching. Four activities are presented: (a) searching and critical analysis of simulations, (b) verification of simulations, (c) re-creation of simulations and (d) overcome of the original simulations. The activities with spreadsheets are accessible and relatively simple for students and teachers.

KEYWORDS: simulations, spreadsheets, chemistry teaching

El presente artículo puede considerarse como una continuación del artículo *Enseñanza de la química con la hoja de cálculo* (Raviolo, 2011). En el mismo se realiza una introducción a la hoja de cálculo en general y a su historia en la educación científica, también se destacan las habilidades de acción y de pensamiento que la hoja de cálculo promueve y sus características principales de versatilidad y potencialidad.

Si bien, la hoja de cálculo es un recurso que se comenzó a emplear en la enseñanza de las ciencias desde mediados de los años 80, sus posibilidades no se han agotado y sigue ofreciendo alternativas útiles y accesibles. Baker y Sugden (2003) realizaron una completa revisión de los primeros 25 años de las hojas de cálculo en educación, con el objeto de proveer argumentos y motivación para futuras investigaciones en esta área.

Para la enseñanza de las ciencias, las principales ventajas de las hojas de cálculo pueden resumirse en: (a) están realmente disponibles, (b) constituyen una herramienta poderosa y con una amplia variedad de usos, (c) los alumnos y profesores están cada vez más familiarizados con ellas, (d) son de rápido aprendizaje y uso inmediato, (e) en muchos casos pueden reemplazar a un lenguaje de programación de difícil aprendizaje, (f) motivan a los estudiantes, (g) respetan el ritmo individual de aprendizaje y posibilitan el trabajo en grupo cooperativo, (h) mejoran la confianza de los profesores en las tecnologías informáticas.

Sin embargo, la hoja de cálculo en la enseñanza de la química no ha tenido el desarrollo esperable, tanto en el nivel medio como en la universidad, seguramente por el desconocimiento de cómo dar los primeros pasos para incluirlas integralmente dentro de la planificación docente. En este sentido, Talanquer (2009) sostiene: "Hoy día contamos con una

gran variedad de recursos tecnológicos educativos en las distintas disciplinas, pero los docentes deben invertir una gran cantidad de tiempo y esfuerzo para identificarlos, localizarlos y analizarlos... Los maestros deben tener oportunidades para repensar y recrear el contenido y las habilidades que enseñan haciendo uso de esas nuevas herramientas." Este artículo intenta realizar un aporte en la concreción de estos objetivos.

En el artículo anterior se presentaron, a modo de ejemplo, dos tipos de actividades para llevar adelante con la hoja de cálculo: (a) construcción de una "tabla-programa" y (b) construcción de una "planilla de cálculo" (secuencia de operaciones encadenadas). Estos tipos de actividades son considerados como puentes entre el contenido científico abordado y el conocimiento operativo de informática, o verdaderos nexos para transferir actividades de aprendizaje de la química a la hoja de cálculo.

En el presente artículo se desarrollan tres nuevos tipos de actividades: verificación, re-creación y superación de simulaciones, que constituyen una propuesta distinta, relativamente sencilla, accesible, que entusiasma a los estudiantes y resulta de utilidad, especialmente para profesores de nivel medio.

Simulaciones y enseñanza de la química

Una simulación es un proceso de interacción con objetos y modelos, que permite ponerlos en movimiento. La diferencia entre una simulación y una animación radicaría en que una animación resalta aspectos cualitativos en cambio una simulación resalta aspectos cuantitativos, aunque generalmente suele denominarse a ambos tipos como simulaciones.

En la enseñanza de las ciencias, las simulaciones y animaciones computacionales son particularmente útiles cuando, debido a la naturaleza del fenómeno o debido a razones de seguridad, tiempo, económicas o administrativas, los estudiantes no pueden actuar directamente sobre el material estudiado.

Las visualizaciones a las que se acceden a través de simulaciones y animaciones, de fenómenos y estructuras no observables directamente, promueven la comprensión y el aprendizaje significativo de conceptos abstractos (Chiu y Wu, 2009).

* Universidad Nacional de Río Negro y Universidad Nacional del Comahue. Villegas 147. Bariloche. Río Negro. Argentina.
Correo electrónico: araviolo@bariloche.com.ar

Recibido: 7 de noviembre 2010; aceptado: 23 de mayo 2011.

Giordan y Gois (2009) en un completo artículo hacen una revisión de cómo han evolucionado los recursos computacionales para la visualización en la enseñanza de la química. Comienza con la simulación 4M:CHEM del año 1994, que muestra cuatro ventanas correspondientes a los cuatro niveles de representación: macroscópico, submicroscópico, simbólico y gráfico, hasta simuladores actuales que permiten no sólo manipular las representaciones sino también crearlas.

No caben dudas de que las simulaciones y animaciones en la clase de química motivan a los alumnos. Dinamizan la clase de química, aunque el desafío más importante es superar su uso anecdótico y generar actividades que fomenten aprendizajes conceptuales. En este sentido, las simulaciones pueden ayudar en la integración de los aspectos teóricos y prácticos en un curso de química, especialmente en el nivel universitario, en donde los distintos momentos de enseñanza pueden estar a cargo de diferentes personas y, así, brindar una discusión teórica y modelada de problemas y una explicación teórica a experimentos realizados en laboratorio.

En la revista *Educación Química* han aparecido varias experiencias sobre el uso de simulaciones más complejas para la ingeniería química (Arce, 1995; Zumalacárregui y Palomino, 2001; Núñez y Pérez, 2008), pero no se han publicado artículos sobre el uso en general y didáctico de la hoja de cálculo en la enseñanza de la química; sólo han aparecido dos con aplicaciones específicas de la hoja de cálculo: Quílez y Castelló (1996) sobre el equilibrio químico, y Rojas y otros (2010) sobre química analítica. A continuación se brindará una propuesta para enriquecer el uso didáctico de las simulaciones en la clase de química. En esta propuesta se pueden identificar tres pasos:

1. Búsqueda y análisis crítico de simulaciones

Se solicita a los estudiantes que busquen en Internet, analicen y presenten a la clase una simulación, dentro de una temática propuesta por el profesor.

Para realizar búsquedas se recomienda el siguiente formato, por ejemplo para el equilibrio químico: *equilibrio químico swf*, o su correspondiente traducción en inglés *chemical equilibrium swf*. La extensión swf corresponde a archivos de Shockwave Flash Object. También se pueden realizar búsquedas con otras extensiones como *dir* (Adobe Director) o *jar* (applets de Java). Muchas simulaciones no permiten ser guardadas en una carpeta directamente, por lo cual es necesario buscar el archivo, por ejemplo con la extensión swf, en archivos temporarios de Internet.

En las presentaciones de las simulaciones los alumnos tienen que poner en juego los conceptos del tema y destacar los aspectos positivos y negativos de la simulación:

- Correspondencias, conceptos que aborda, objetivo o foco de la simulación, aciertos de las ilustraciones y gráficas. Nivel de desarrollo de fundamentos teóricos.
- No correspondencias, limitaciones, simplificaciones que asume, problemas conceptuales (concepciones alternativas que pudiera provocar o reforzar). Por ejemplo, muchas

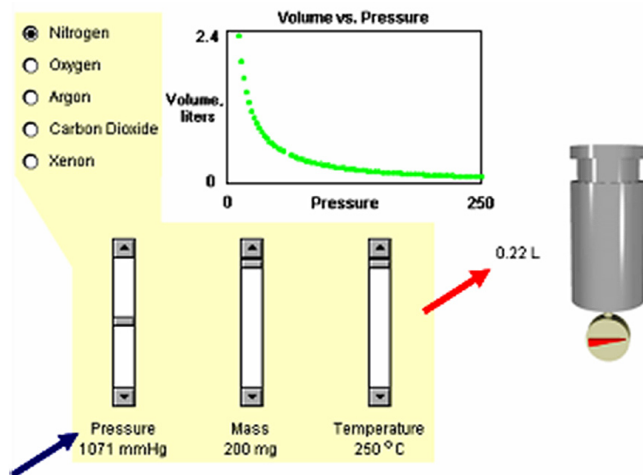


Figura 1. Ejemplo de simulación obtenida de Internet sobre las leyes de los gases (<http://www.people.okanagan.bc.ca/cdoige/chemland/>)

simulaciones sobre el equilibrio químico refuerzan la idea errónea de compartimentación del sistema, al presentar un recipiente para reactivos y otro para productos.

2. Verificación de simulaciones

Esta actividad y la siguiente se ejemplificarán con un tema sencillo como la ley de Boyle de los gases ideales, para que la atención recaiga en el tipo de actividades que se puede dar a los alumnos y en la forma de provocarlos para que participen activamente.

Luego de una búsqueda a partir de las frases: “ley de Boyle swf”, “Boyle law swf”, o con otras extensiones, por ejemplo “GasLaws.dcr”, aparecen varias simulaciones, como la que muestra la figura 1.

La actividad consiste en desafiar a los estudiantes a verificar la veracidad de la simulación bajada. La idea es reproducir con la hoja de cálculo la simulación, que se presenta como una caja negra, y verificar sus resultados reproduciendo los modelos matemáticos y ecuaciones que comprenden. Se pregunta: ¿qué ecuaciones o modelos matemáticos están incluidos en esta simulación?

En la simulación se aprecia un gas de comportamiento ideal (nitrógeno) contenido en un cilindro-pistón, y la verificación se orienta a la ley de Boyle, la relación entre la presión y el volumen (para una masa fija de 200 mg y una temperatura constante de 250°C) y ambas variables son representadas en una gráfica. La presión puede variar de 100 a 2000 mmHg, con lo cual se obtienen valores de volumen entre 2,33 L y 0,12 L, relacionados por la ecuación $V = n \cdot R \cdot T / P$, para el modelo de gas ideal.

Para introducir los datos e incógnitas se sigue el formato de *magnitud – valor – unidad*. La figura 2, muestra una resolución de la actividad de verificación de la simulación bajada, en la que se corroboran los valores de volumen que aparecen en la simulación original.

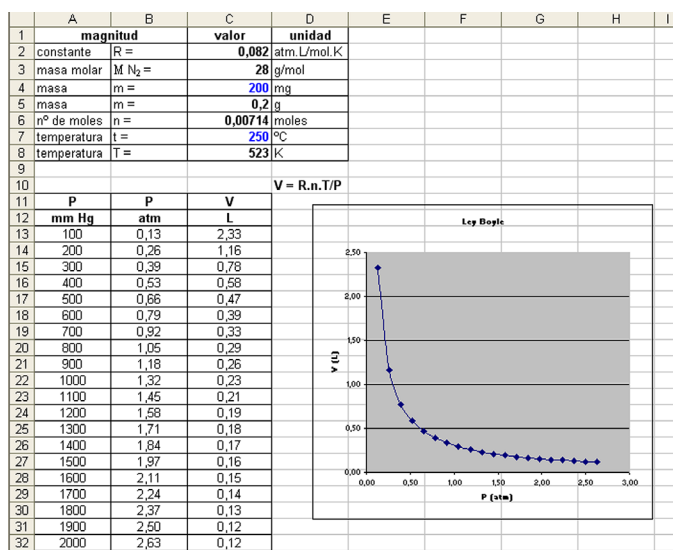


Figura 2. Ejemplo de hoja de cálculo resultante de verificación de la simulación.

Operaciones:

Celda C5: =C4/1000

Celda C6: =C5/C3

Celda C8: =C7+273

Celda B13: =A13/760 y replicar hacia abajo hasta final de la tabla

Celda C13: =C5*\$C\$2*\$C\$6*\$C\$8/B13 y replicar hacia abajo hasta final de la tabla

Gráfico XY, B13:B32, C13:C32

El ejemplo es sencillo, lo importante es el tipo de actividad que se sugiere realizar con los estudiantes. Otras propuestas se han llevado a cabo con respecto a la ley de Boyle-Mariotte, entre ellas, Urzúa y Vargas (2002) muestran una experiencia de utilización de sensores e interfaces como aplicación de nuevas tecnologías, similar a lo expuesto por Lewis (1997). Por su parte, Sinex (2008) investiga los errores experimentales que surgen en la demostración de la ley de Boyle con un simulador interactivo realizado con la hoja de cálculo.

3. Re-creación de simulaciones

Aunque esta actividad es más de informática, de aprovechamiento de las herramientas que nos brindan los programas de las hojas de cálculo como Excel, el producto de la misma produce mucha satisfacción tanto en alumnos como en docentes. El software está provisto de muchas herramientas de formato y diseño, que pueden emplearse para fines estéticos y para realzar la atracción e interés de los usuarios.

La actividad consiste en desafiar a los estudiantes a presentar con la hoja de cálculo una simulación con una apariencia lo más similar posible a la simulación original bajada de Internet, en nuestro caso lo más similar a la simulación de la figura 1. Para lo cual se debe recurrir a algunas herramientas

como: barras de desplazamiento, botones de opciones e, incluso, una macro (Marzocchi y otros, 2007).

Las instrucciones que se brindan a continuación corresponden al programa Excel de Microsoft Office 2003; estas instrucciones fácilmente pueden encontrarse en otras versiones o programas. Las barras de desplazamiento se insertan desde: *Ver, Barra de herramientas, Formularios*, se buscan las *Barras de desplazamiento* y se dibujan en la hoja. Una vez copiadas las barras de desplazamiento, con el botón derecho del ratón, se puede acceder a *Formato de control, Control* y completar el *Valor mínimo, Valor máximo, Incremento* y *Vincular con la celda* en la que se desea que figure la variable. En la simulación original la masa varía entre 1 y 200 mg y la temperatura entre 0 y 250°C.

Es más complejo crear los botones de opciones, para que al marcarlos aparezca la masa molar del gas en la celda deseada. Para ello, primero se construye una tabla auxiliar de tres columnas, debajo de la simulación fuera del campo visual, como la siguiente:

1	nitrógeno	28
2	oxígeno	32
3	argón	40
4	dióxido de carbono	44
5	zenón	131

En *Ver, Barra de herramientas, Formularios, Botón de opción*, abrimos cinco botones en la hoja. Sobre el primero de ellos y con el botón derecho del ratón abrimos *Formato de control, Control*, marcamos *Activado* y *Vincular con la celda*, y elegimos una celda debajo de la tabla auxiliar. Al marcar un botón de opción aparece en dicha celda vinculada el número de orden. También con *Modificar el texto* se nombra a los botones como los cinco gases.

Luego se busca la celda donde queremos que aparezca el valor seleccionado de la masa molar (celda K3) y, sobre ella, vamos a *Insertar función* y abrimos la función BUSCARV, al aceptar aparece un cuadro que se completa. En *Valor buscado*: se marca la celda vinculada a los botones de opciones, en *Matriz buscar en*: se introduce toda la tabla auxiliar y en *Indicador columnas*: va el número de columna de la tabla auxiliar donde aparecen los valores deseados (3 en este caso), *Aceptar*.

Por último, se puede pegar una imagen de un cilindro-émbolo. Una forma de obtener esa imagen es copiar y pegar la pantalla con la simulación original y recortar de ella la imagen del cilindro-émbolo. Para copiar la pantalla se recurre al botón del teclado *Imprimir la pantalla*, con lo que se obtiene una planilla de cálculo con un formato bastante similar a la simulación original (figura 3). Al ir modificando los valores de presión, el punto en el gráfico "recorre" la hipérbola equilátera correspondiente a la ley de Boyle.

Para cumplir el objetivo propuesto, la apariencia de la planilla anterior puede mejorarse aún más con el uso de una

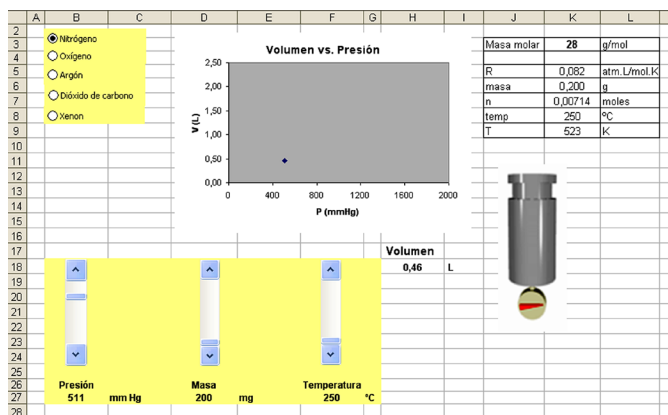


Figura 3. Ejemplo de hoja de cálculo con formato similar a la simulación original.

macro. Una macro es un comando que en un único paso realiza muchas operaciones, con lo cual se automatiza más el trabajo con la hoja de cálculo. Con las opciones de macros podemos crear dos botones, uno para limpiar la pantalla y otro para restaurar la pantalla. Vamos a *Herramientas, Macro, Grabar nueva macro, Nombre de la macro* "limpiar"; después de aceptar, todas las operaciones que se realizan quedan grabadas en esta nueva macro. Marcamos el texto que no queremos que se vea y lo ponemos color de fuente blanco, eliminamos los bordes, en *Herramientas, Opciones, Ver*, sacamos el tilde a todo, luego en *Ver*, marcamos *Pantalla completa*. Por último detenemos la macro. Finalmente le asignamos esa macro a un botón, para ello abrimos *Herramientas, Formularios*, abrimos un *Botón* en la hoja y con el botón derecho del ratón le asignamos la macro correspondiente y le modificamos el texto como "Limpiar pantalla". Para restaurar la pantalla, con formato de la hoja de cálculo, se graba una macro, siguiendo los pasos opuestos a lo realizado para limpiar pantalla y llamamos al botón correspondiente como "Restaurar pantalla". El producto final, de apariencia y funcionamiento muy similar a la simulación original, se aprecia en la figura 4.

Como puede advertir el lector las posibilidades que ofrece este tipo de actividades son muchísimas. Los interesados pueden solicitar los archivos originales y consultar dudas sobre las actividades realizadas a la dirección de correo electrónico del autor.

4. Superación de simulaciones

La última actividad que propone este artículo es la profundización o superación de la simulación inicial incorporando nuevos conceptos y/o herramientas del programa, que no se encontraban en la simulación original. La ventaja de las hojas de cálculo sobre los "applets" es que el usuario puede modificar el diseño y superar el alcance y complejidad de la simulación.

Para llevar a cabo este objetivo de profundización puede consultarse la siguiente bibliografía específica:

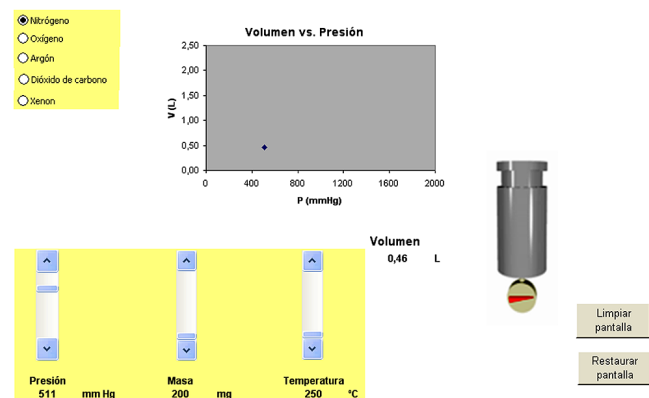


Figura 4. Producto final de simulación re-creada con la hoja de cálculo.

- los textos: Skoog y otros (2009), Billo (2003), de Levie (2001), Diamond y Hanratty (1997) y Freiser (1992).
- las páginas: de "excelets" de Sinex (<http://academic.pgcc.edu/~ssinex/excelets/>), o el proyecto CHP con simulaciones en hojas de cálculo para química analítica y fisicoquímica (<http://www.files.chem.vt.edu/chem-ed/simulations/spreadsheets.html>), entre otras.

Siguiendo los trabajos de Sinex, se presenta un ejemplo (figura 5) donde se ha incorporado, a la simulación recreada, una barra de desplazamiento que permite la inclusión de un error aleatorio en los volúmenes calculados. Esta barra genera valores del 0 al 20, que son tenidos en cuenta en el cálculo de

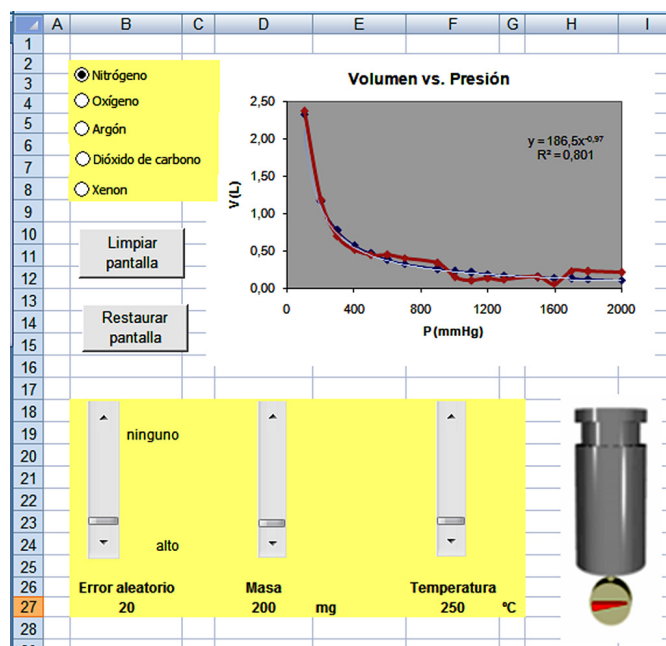


Figura 5. Ejemplo de simulación superada con la inclusión de errores aleatorios.

volumen con error aleatorio (V^*). A las tablas que muestra la figura 2 se agrega una columna con los valores de este nuevo volumen que se calcula agregando el siguiente término a la fórmula de volumen ($V = nRT/P$): $+ \$B\$27 * ALEATORIO.ENTRE(-5;5)/1000$

De esta manera se puede graficar la presión versus las dos series de volúmenes y apreciar que coinciden cuando el error es cero ($V = a \cdot P^{-1}$) y analizar sus diferencias cuando el error es mayor. También puede agregarse una columna que calcule los productos de $P \cdot V^*$ y el promedio de los mismos que rondarán el valor de 0,31 atm·L.

Las posibilidades de superar las simulaciones originales y su profundización conceptual, abren un rico campo a la creatividad del alumno y/o usuario.

Conclusiones

Las actividades propuestas motivan a los estudiantes y profesores. Su ejecución dinamiza la clase de química. Esto es significativo, especialmente, en el nivel medio por la carencia de ideas para utilizar los recursos informáticos para enseñar química. En la enseñanza universitaria, donde predomina cierta monotonía metodológica debido a que se repite un número limitado de rutinas: clases teóricas expositivas, clases de problemas algorítmicos y laboratorios como recetas, el uso de simulaciones es una alternativa para superar esa situación. En clases “teóricas” se analizan los experimentos a través de simulaciones o en clases “prácticas” se discuten los conceptos involucrados en experimentos o problemas a través de simulaciones.

Por ello, se puede afirmar que las simulaciones en la enseñanza de la química favorecen la integración de:

- los distintos niveles de representación de los fenómenos químicos: macroscópico (experimental), microscópico (submicro o nanoscópico), simbólico (ecuaciones y fórmulas) y gráfico.
- los distintos momentos de enseñanza: teóricos, problemas y laboratorios, relacionando teoría y práctica.

Además, otras ventajas de emplear simulaciones para la enseñanza radican en que las simulaciones: (i) brindan imágenes que se recuerdan con más facilidad, (ii) dan una imagen dinámica y tridimensional de los procesos químicos, (iii) respetan ritmos individuales de aprendizaje (si cada alumno trabaja frente a una computadora) y (iv) aumentan el tiempo en que los alumnos operan con conceptos químico (si se solicitan actividades para realizar fuera de la clase).

Aunque también su empleo puede tener limitaciones o desventajas como: (a) el uso superficial y anecdótico, (b) la recepción pasiva, (c) desviar la atención de los objetivos pedagógicos y conceptos básicos a aprender y (d) la generación de concepciones alternativas.

Tanto para potenciar las ventajas del uso de simulaciones en las clases como para minimizar sus dificultades, se requiere del docente una planificación previa y una vigilancia permanente del proceso de enseñanza y aprendizaje.

Como con el uso de todas las demás imágenes que se emplean en una clase de química (Raviolo, 2010), es necesario negociar con los estudiantes el significado de las imágenes que presentan las simulaciones, y que los estudiantes y profesores pongan en palabras dichas imágenes, revisando los significados que le han otorgado y relacionándolos con los objetivos de enseñanza. El docente permanece activo frente a una simulación, la explica, la completa, la corrige y, sobre todo, pregunta: ¿qué tiene que ver esta imagen con lo que estamos viendo?, ¿cómo se imaginan...?, ¿qué imágenes tienen de...?, ¿qué ven en esta imagen...?, ¿qué nos dice?

Para ser coherentes con el modelo propuesto, es importante generar actividades de evaluación con simulaciones. Por ejemplo, pasar una simulación y pedirle a los estudiantes que la expliquen en el papel. Una consigna más dirigida podría ser: “Explique la siguiente simulación empleando, por lo menos una vez, cada uno de los siguientes conceptos: ...”.

La potencialidad educativa de estos recursos es inmensa, siempre y cuando se utilicen con criterio y para fomentar aprendizajes significativos. Se espera haber contribuido con algunas ideas que disparen el entusiasmo y la creatividad de estudiantes y profesores.

Bibliografía

- Arce, E., La simulación como herramienta de desarrollo en la Ingeniería Química, *Educ. quím.*, 6(3), 174–178, 1995.
- Baker, J. y Sugden, S., Spreadsheets in education – The first 25 years, *Spreadsheets in Education*, 1(1), article 2, 2003.
- Billo, J., *Excel for chemists: a comprehensive guide*. Wiley, 2003.
- Chiu, M y Wu, H., The roles of multimedia in the teaching and learning of the triplet relationship in chemistry. En: J. K. Gilbert y D. Treagust (eds.). *Multiple representations in chemical education*, US: Springer, 2009.
- de Levie, R. *How to use Excel in analytical chemistry and in general scientific data analysis*. Cambridge Univ. Press, 2001.
- Diamond, D. y Hanratty, V., *Spreadsheet applications in chemistry using Microsoft Excel*. Wiley, 1997.
- Freiser, H., *Concepts and calculations in analytical chemistry: a spreadsheet approach*. Boca Raton: CRC Press, 1992.
- Giordan, M. y Gois, J., Entornos virtuales de aprendizaje en química: una revisión de la literatura, *Educ. quím.*, 20(3), 301–313, 2009.
- Lewis, D., A simple Boyle's law experiment, *Journal of Chemical Education*, 74(2), 209, 1997.
- Marzocchi, V., Taleb, M., Padilla, M., Elli, B. y Marzocchi, D., Diseño de simuladores usando planilla de cálculo por alumnos ingresantes de Ingeniería. *II Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, La Plata, 2007.
- Núñez-Esquer, M. y Pérez-Tello, M., Dos aplicaciones de Internet en la currícula de Ingeniería Química, *Educ. quím.*, 19(1), 13–17, 2008.
- Quílez, J. y Castelló, M., La enseñanza del equilibrio químico con ayuda de la computadora, *Educ. quím.*, 7(1), 50-54, 1996.

- Raviolo, A., Enseñanza de la química con la hoja de cálculo, *Educ. quím.*, **22**(4), 357–362, 2011.
- Raviolo, A., Recursos didácticos visuales en las clases de ciencias, *Educación en la Química*, **16**(1), 9–18, 2010.
- Rojas-Hernández, A., Ramírez-Silva, M., Galano, A., Córdova Frunz, J. y Pérez Arévalo, J., La ecuación de Charlot, la gráfica de Flood y la gráfica de Gordus, *Educ. quím.*, **21**(4), 306–313, 2010.
- Sinex, S., The Boyle's law simulator: a dynamic interactive visualization for discovery learning of experimental error analysis, *Spreadsheets in Education*, **3**(1), article 2, 2008.
- Skoog, D., West, D., Holler, J. y Crouch, S. *Fundamentos de Química Analítica*. 8ª edición. México: Cengage Learning, 2009.
- Talanquer, V., De escuelas, docentes y TICs, *Educ. quím.*, **20**(3), 345-350, 2009.
- Urzúa, T. y Vargas, J., Nuevas tecnologías aplicadas en el laboratorio: ley de Boyle- Mariotte, *Educ. quím.*, **13**(3), 201-205, 2002.
- Zumalacárregui, L. y Palomino, J., Ejemplo para el uso de un simulador en los estudios de ingeniería química, *Educ. quím.*, **12**(4), 203-208, 2001.