

La hoja de cálculo en la enseñanza de la Física: re-creando simulaciones

Andrés Raviolo^{1,2}, Marcelo Alvarez¹ y Alfonso Aguilar²

¹ Universidad Nacional de Río Negro. Argentina.

² Universidad Nacional del Comahue. Argentina.
araviolo@bariloche.com.ar

En el presente trabajo se realiza una breve revisión del uso de las hojas de cálculo y de las simulaciones en la enseñanza de la física. Presenta tres tipos de actividades con simulaciones obtenidas de Internet y hojas de cálculo. Estas actividades resultan accesibles y motivadoras tanto para estudiantes como para profesores, consolidan la confianza de los docentes con los recursos informáticos y estimulan el proceso de creación de simulaciones propias.

Palabras clave: simulaciones, hojas de cálculo, enseñanza de la física.

This paper describes the use of spreadsheets and simulations in physics teaching. Three types of activities with simulations from Internet, and spreadsheets are presented. These activities are accessible and motivating both for teachers and students. Also, they contribute to consolidate teachers' confidence in informatics resources and to stimulate the process of creating personal simulations.

Keywords: simulations, spreadsheets, physics teaching.

Introducción

En los últimos años se ha observado un interés creciente por estudiar cómo las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) se insertan en las prácticas educativas, en particular en la enseñanza de las ciencias y cómo, eventualmente, pueden transformarlas y mejorarlas.

Es notorio el interés por parte del Estado en la incorporación de las TICs a la enseñanza. Por un lado, la modificación en los planes de estudio del nivel medio y en la formación del profesorado en el sentido de incluir estas herramientas. Por el otro, en la inversión para equipar salas de informática en los establecimientos educativos o, por ejemplo, la implementación del Plan Conectar Igualdad con la masiva entrega de netbooks a los estudiantes. Pese a este esfuerzo, se acuerda con Sanmanrtí e Izquierdo (2001) en que “*la enseñanza es uno de los pocos ámbitos profesionales en que la informatización no ha conllevado*

hasta el momento un aumento de la productividad tanto en cantidad como en calidad, al menos de una forma significativa”. Sería ingenuo suponer que la transformación efectiva de la enseñanza es algo sencillo, producto de alguna receta adecuada, como la incorporación masiva de las TICs (Gil Pérez, Carrascosa y Martínez, 2000).

La incorporación de las TICs en la escuela exige repensar las formas de transmisión de los saberes que se ponen en juego en las aulas. Batista y colaboradores (2007) sostienen “*para que la integración pedagógica de las TIC se convierta en una oportunidad de inclusión debe ser significativa para quienes participan de ella*”. En este sentido, para Pisano (2010) el gran desafío lo constituye la verdadera apropiación de esas tecnologías para que las mismas tengan un impacto en los aprendizajes. El aprendizaje de los estudiantes dependerá de la calidad de las prácticas en

las que participen dentro del aula (Coll, Mauri y Onrubia, 2008), por ello es necesario desarrollar nuevas estrategias y herramientas de utilización de estos recursos. La adquisición de nuevos recursos, por sí solos, no supone un avance en la mejora de la calidad educativa, dado que éstos no son buenos o malos *per se*, sino que dependen de la estrategia o dinámica empleada por los docentes y alumnos.

El presente trabajo tiene por objetivos: (1) realizar una breve revisión del uso de las hojas de cálculo y de las simulaciones en la enseñanza de la física, (2) presentar tres tipos de actividades que resulten accesibles y motivadoras tanto para estudiantes como para profesores, (3) consolidar la confianza de los docentes con estos recursos informáticos y estimular el proceso de creación de simulaciones propias.

Hojas de cálculo y enseñanza de las ciencias

La hoja de cálculo es un programa que al ejecutarlo muestra un formato de tabla, una matriz de celdas identificadas por una letra para cada columna (vertical) y por un número para cada fila (horizontal). Las dimensiones de las celdas son variables y pueden contener: números, letras, o almacenar fórmulas matemáticas y mostrar su resultado numérico. Este formato en celdas es fácilmente comprensible y con pocas instrucciones el usuario puede comenzar a utilizarlo. En ellas se pueden realizar secuencias de operaciones donde los datos pueden ser cambiados o estar enlazados a otros. Las hojas de cálculo también permiten visualizar y tratar la información en variadas formas gráficas. Están generalmente instaladas en cualquier computadora y una de las más difundidas en la actualidad es la aplicación EXCEL.

Los primeros artículos sobre aplicaciones educativas de las “spreadsheets” en la enseñanza de las ciencias aparecen a me-

diados de la década de los ochenta en revistas norteamericanas, por ejemplo en *The Science Teacher*. En el *American Journal of Physics*, Feinberg y Knittel (1985) publican el artículo pionero de la utilización de la hoja de cálculo en laboratorios de física universitaria, donde consideran que constituye una herramienta útil en tres áreas: (i) recolección de datos, (ii) análisis de errores y (iii) diseño experimental.

En la revista inglesa *School Science Review*, se han publicado muchas aplicaciones, desde la invitación realizada por Osborn en 1987. A modo de ejemplo: (a) artículos generales: Goodfellow (1990), Carson (1997); (b) en biología: Carson (1996); (c) en química: Brosnan (1990), Finnemore (1990); y (d) en particular sobre física: Elliott (1988) ejemplifica el uso de la hoja de cálculo en fenómenos dinámicos como la descarga de un capacitor o el flujo de calor en una barra; Penman (1990) la emplea para enseñar el decaimiento radioactivo; Diament y Cleminson (1996) muestran modelos gráficos para simular sistemas dinámicos de fenómenos como refracción, movimiento circular y sonido; y Trumper y Geldman (2001) analizan los datos experimentales obtenidos de medidas de aceleración de la gravedad.

En la revista norteamericana *Physics Teacher* se han publicado varias contribuciones en esta línea: Walter (1989) propone un rápido, simple y efectivo método para resolver problemas físicos con la hoja de cálculo, por ejemplo para el caso de una masa suspendida por un resorte en un líquido viscoso. Guglielmino (1989) sugiere a la hoja de cálculo para analizar y graficar los datos de: (a) los experimentos introductorios tradicionales, (b) experimentos más avanzados y complejos y (c) simulaciones en el laboratorio que requieren técnicas numéricas simples y poderosas. Frank y Kluk (1990) emplean la hoja de cálculo para ampliar y corregir el trabajo de Walter sobre el oscilador armónico.

Krieger y Stith (1990) discuten su experiencia exitosa de integrar la hoja de cálculo al laboratorio, y destacan que la misma permite a los estudiantes concentrarse sobre el problema físico a tratar en lugar de hacerlo sobre cálculos tediosos. Engelhardt y otros (1993) muestran su experiencia de la aplicación de un tutorial para enseñar a los alumnos sobre el manejo de la hoja de cálculo para física y su aplicación en clases de problemas y laboratorios. Finalmente, Beichner (1997) las utiliza para visualizar superficies de potencial de campo eléctrico.

En la revista inglesa *Physics Education* se destacan algunos artículos pioneros en esta temática: Webb (1993) describe la facilidad y funcionalidad de la hoja de cálculo para abordar datos experimentales en cursos de secundaria; Carson (1995) desarrolla un modelo numérico con la hoja de cálculo para un oscilador armónico simple. Field (1995) la emplea para demostrar fenómenos de difracción; Britges (1995) la utiliza para describir un modelo teórico de órbitas circulares de los planetas y Cooke (1997) presenta ideas para emplear la hoja de cálculo en números al azar, distribución de potencial eléctrico, ajuste de funciones y análisis de frecuencia de ondas.

En *Computers in Physics* se han publicado muchos artículos con aplicaciones de las hojas de cálculo, por ejemplo Dory (1988), Misner (1988), Orvis (1990) y De Jong (1991).

Las propuestas mencionadas están dirigidas a estudiantes de distintos niveles educativos, incluso se han publicado algunos libros que incluyen actividades para los últimos años de la primaria y para el nivel medio, como ser los de Whitmer (1993) y Tebbutt y Flavell (1995).

Como se indica en varios de estos trabajos pioneros, a diferencia de lo que ocurre en la actualidad, los estudiantes no contaban con experiencia previa en el uso del programa. Sin embargo, las razones de la

utilidad de la hoja de cálculo para enseñar ciencias expresadas por Webb (1993) siguen siendo válidas:

- están disponibles y son de uso amigable
- reduce el tiempo dedicado a trabajos o cálculos repetitivos y mecánicos, y deja más tiempo para los procesos de la ciencia como formular preguntas, predecir, hipotetizar, interpretar resultados y evaluar evidencia científica
- pueden ser divertidas para usar

La bibliografía destaca que el empleo de las hojas de cálculo favorece el desarrollo de las siguientes habilidades:

- de organización y presentación de la información, que puede ser visualizada en una variedad de formas: tablas de números, diagramas, gráficos y animaciones.
- de interpretación cuali y cuantitativas. Análisis de datos, extraer regularidades y generalizaciones, sacar conclusiones.
- de comunicación. Secuenciación lógica de planteos.
- de resolución de problemas. Búsqueda de estrategias.
- de toma de decisiones. A partir de modelos y simulaciones.
- de control. Revisión y depuración de lo realizado.
- de elaboración de informes. Organización del texto.

Una completa revisión de los primeros 25 años de las hojas de cálculo en educación la realizaron Baker y Sugden (2003) con el objeto de proveer argumentos y motivación para futuras investigaciones en esta área.

En nuestro país, en los libros de Claudio Sánchez sobre el uso del programa Excel se encuentran ejemplos de temas de física (Sánchez, 2002). Se aprecia que existen pocas revisiones y experiencias publicadas en español sobre el empleo de la hoja de cálculo en la enseñanza de la física. Una

revisión sobre su aplicación en enseñanza de la química es llevada a cabo por Raviollo (2011).

Simulaciones y enseñanza de la física

La presencia de las TICs en la enseñanza de la física ha crecido notablemente. La revisión bibliográfica de González, Capuano y Zalazar (2009) presenta evidencias sobre este crecimiento y de cómo en un primer momento las TICs aparecen asociadas más a la práctica experimental, mientras que en la actualidad se las utiliza fuertemente también en las clases teóricas y en la resolución de problemas.

La incorporación de estas tecnologías en las clases de física se ha manifestado especialmente en: (a) la búsqueda de información a través de Internet, (b) el procesamiento y análisis de datos, (c) la incorporación en los laboratorios de sensores e interfaces que permiten la adquisición y tratamiento de datos con la computadora y (d) programas que permiten la simulación de una variedad de fenómenos y la realización de experiencias virtuales. Es este último uso el que se profundiza en el presente artículo.

Los simuladores de computadora son programas que permiten poner en funcionamiento un modelo de un proceso o fenómeno del mundo natural (Esquembre, 2004). Permiten distintos grados de intervención del usuario que, en muchos casos, puede manipular algunas de las condiciones “experimentales” (valores iniciales y parámetros que afectan al modelo) y observar el resultado de esta manipulación a través de animaciones, gráficos y resultados numéricos. Un modelo es concebido como mediador entre la teoría y la realidad (Lombardi, 2011), cuyas funciones principales son las de describir, explicar y predecir.

Existen diversas clases de simuladores a disposición de los docentes, muchos de ellos gratuitos y disponibles en Internet. Sin embargo, se aprecian dos limitaciones: por un lado, muchas veces el modelo físico-matemático es implícito e invisible para el usuario; es decir, que no son accesibles las simplificaciones a las que se recurre, las variables no consideradas, o hay pocas referencias al grado de acercamiento al comportamiento del sistema físico real. Y, por otro lado, muchos de estos recursos no vienen acompañados de propuestas didácticas basadas en objetivos pedagógicos previamente definidos, lo cual dificulta el aprovechamiento de la potencialidad de los mismos (Giorgi, Concari y Cámara, 2005).

Si bien hay acuerdo respecto del rol de soporte que pueden jugar las simulaciones en el aprendizaje de la física, queda pendiente aún realizar más investigaciones de aula que permitan explorar, ajustar y validar estrategias y determinar en qué medida la utilización de herramientas de modelización y simulación pueden contribuir a superar las dificultades conceptuales (Utges, Fernández y Jardón, 2003).

A continuación, presentaremos tres tipos de actividades relacionadas con usos didácticos de las simulaciones. Las dos últimas involucran a la hoja de cálculo.

Búsqueda y análisis crítico de simulaciones

Se solicita a los estudiantes que busquen en Internet, analicen y presenten a la clase una simulación.

Para realizar búsquedas, por ejemplo de cinemática, se recomienda el siguiente formato: *física cinemática swf*, o su correspondiente traducción en inglés *physics kinematics swf*. La extensión swf corresponde a archivos de Shockwave Flash Object. También se puede 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 la presentación 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).

Verificación de simulaciones

Esta actividad y la siguiente se ejemplificarán con un tema sencillo como la transferencia de calor de un metal al agua en un calorímetro. De este modo el acento estará puesto en el tipo de actividad que se puede realizar, así como en la forma en que los estudiantes participan activamente de la propuesta. Luego de una búsqueda a partir de las frases: “heat transfer metal water swf” o “transferencia calor metal agua swf” o con otras extensiones, aparecen

varias simulaciones como, por ejemplo la que muestra la Figura 1, ejecutada desde la página web:

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

En la simulación se aprecia que un cubo de metal (cobre) de calor específico $0,385 \text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ y de 80 g de masa a la temperatura de 180°C , es introducido en un calorímetro que contiene 200 g de agua, cuyo calor específico es $4,18 \text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$, a la temperatura inicial de 20°C . Al apretar Start el cubo se introduce en el calorímetro y éste se cierra, y la temperatura aumenta hasta quedar estable en $25,7^{\circ}\text{C}$ (temperatura final), como se aprecia en la Figura 2.

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 modelos o ecuaciones matemáticas están incluidos en esta simulación?



Figura 1. Ejemplo de simulación sobre transferencia de calor metal y agua.

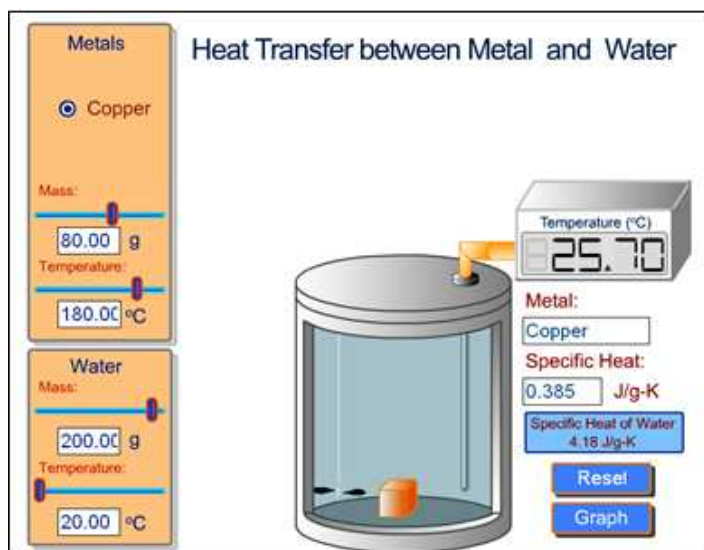


Figura 2. Situación final alcanzada en la simulación.

Siguiendo el formato de magnitud - valor - unidad, la Figura 3 muestra una resolución de la actividad de verificación de la simulación bajada, en la que se corrobora el valor de la temperatura final que aparece en la simulación original.

Considerando al calorímetro como ideal (modelo), donde el intercambio de calor con el ambiente es nulo ($\Sigma Q = 0$) y el calorímetro no absorbe energía ($Q_{\text{calorímetro}} = 0$). En ese caso se cumple:

$$Q_{\text{agua}} + Q_{\text{metal}} = 0$$

$$Q_{\text{agua}} = -Q_{\text{metal}}$$

$$c_{\text{agua}} \cdot m_{\text{agua}} \cdot \Delta T_{\text{agua}} = -c_{\text{metal}} \cdot m_{\text{metal}} \cdot \Delta T_{\text{metal}}$$

$$c_a \cdot m_a \cdot (T_f - T_a) = -c_m \cdot m_m \cdot (T_f - T_m)$$

arribando a:

$$T_f = (c_m \cdot m_m \cdot T_m + c_a \cdot m_a \cdot T_a) / (c_a \cdot m_a + c_m \cdot m_m)$$

Operaciones:

Celda B15: =

(B6*B7*B8+(B9*B10*B11))/

(B6*B7+(B9*B10))

El ejemplo es sencillo pero lo que se desea resaltar es el tipo de actividad que se sugiere realizar con los estudiantes.

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 el Excel, el producto de la misma produce mucha satisfacción tanto en estudiantes como en docentes.

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 descargada de Internet, para lo cual se debe recurrir a algunas herramientas como: barras de desplazamiento, botones de opciones e, incluso, una macro (Marzocchi y otros, 2007).

	A	B	C	D	E
1	Cálculo de la temperatura final Tf				
2					
3	m : cobre				
4	a: agua				
5					
6	Cm	0,385	J/g.°		
7	mm	80	g		
8	Tm	180	° C		
9	Ca	4,18	J/g.°		
10	ma	200	g		
11	Ta	20	° C		
12					
13	$Tf = (cm. mm. Tm + ca. ma. Ti) / (ca. ma + cm. mm) =$				
14					
15	Tf =	25,7	°C		
16					

Figura 3. Ejemplo de hoja de cálculo resultante de verificación de la simulación.

Las instrucciones que se brindan a continuación corresponden al programa Excel de Microsoft Office 2007. De cualquier manera, estas instrucciones fácilmente pueden encontrarse en otras versiones o programas. Con *Botón de Office, Opciones de Excel, Comandos disponibles en, Ficha del programador, Insertar controles, Agregar, Aceptar*, aparece en la parte superior de la pantalla (barra de herramientas de acceso rápido) un icono de Insertar controles. Las barras de desplazamiento se insertan desde esa barra: *Insertar controles, Controles de formulario, Barra de desplazamiento* y se dibujan en la hoja. Una vez copiadas las barras de desplazamiento, con el botón derecho del mouse, 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 de metal varía entre 20 y 120 g, la temperatura del metal entre 20 y 220 °C, la masa de agua entre 30 y 210 g y la temperatura inicial del agua entre 20 y 40 °C.

Es más complejo crear los botones de opciones, para que al marcarlos aparezca el calor específico del metal en la celda deseada. Para ello, primero se construye una tabla auxiliar de tres columnas, debajo

de la simulación y fuera del campo visual, como la siguiente:

1	plata	0,234
2	oro	0,128
3	cobre	0,385
4	hierro	0,452

En *Insertar controles* (barra de herramientas de acceso rápido), *Controles de formulario, Botón de opción*, se insertan 4 botones en la hoja. Sobre el primero de ellos y con el botón derecho del mouse se abre *Formato de control, Control*, y se marca *Activado* y *Vincular con la celda*, y se elige 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 etiqueta a los botones con el nombre los cuatro metales. Luego se busca la celda donde se quiere que aparezca el valor seleccionado del calor específico del metal (celda I23) y, sobre en ella, en *Fórmulas, Insertar función* se abre la función BUSCARV. 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 n° de columna de la tabla auxiliar donde aparecen los valores deseados (3 en este caso), *Aceptar*. De la misma forma se procede para incluir el nombre del metal seleccionado en la celda I20, escribiendo en *Indicador columnas* el número 2.

Por último, se puede pegar una imagen de un calorímetro. Una forma de obtener esa imagen es copiar y pegar la pantalla con la simulación original y recortar de ella la imagen final del calorímetro. Para copiar la pantalla se recurre al botón del teclado *Imprimir la pantalla*. Como resultado de lo realizado hasta el momento se obtiene una planilla de cálculo con un formato bastante similar a la simulación original (Figura 4).

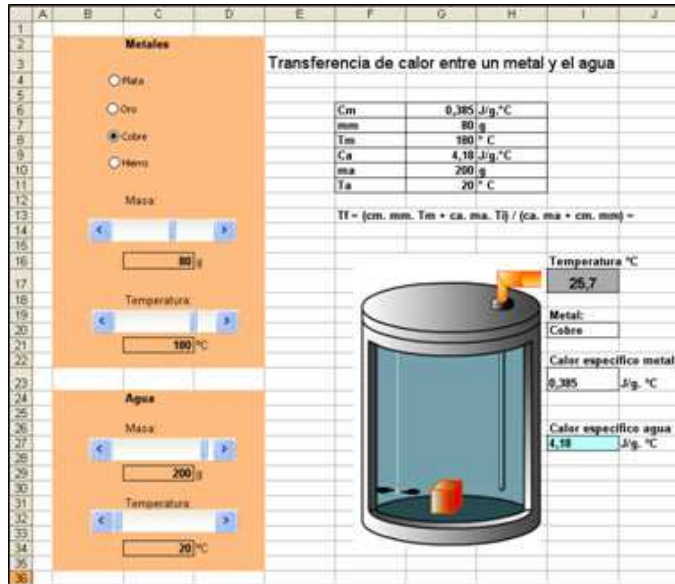


Figura 4. Ejemplo de hoja de cálculo con formato similar a la simulación original.

Para cumplir el objetivo propuesto (reproducir fielmente la simulación), la apariencia de la planilla anterior puede mejorarse aún más con el uso de una macro. Una macro es un comando que en un único paso realiza muchas operaciones, automatizando aún más el trabajo. Con las opciones de macros podemos crear dos botones, uno para limpiar la pantalla, de forma que desaparezca el reticulado de la hoja de cálculo, y otro para restaurarla. En *Vista, Macros, Grabar Macro, Nombre de macro* se crea una macro “limpiar”; después de *Aceptar* todas las operaciones que se realizan quedan grabadas: al texto que se quiere ocultar se le asignan color de fuente blanco, se eliminan los bordes sacando el tilde a todas las opciones de *Vista, Mostrar u Ocultar*. Por último se detiene la macro en *Vista, Macros, Detener grabación*. Finalmente se asigna esa macro a un botón: nuevamente en *Insertar controles, Controles de formulario* se inserta un *Botón* en la hoja, se le asigna la macro correspondiente y se nombra el botón como “Limpiar pantalla”. Para restaurar la pan-

talla, con el formato de la hoja de cálculo, se graba una macro siguiendo los pasos opuestos a lo realizado para limpiar pantalla y se nombra al botón correspondiente como “Restaurar pantalla”. Para finalizar y lograr la re-creación lo más parecida posible a la simulación se puede ir a *Vista, Vistas de libro* y seleccionar la opción *Pantalla completa*.

El producto final, de apariencia y funcionamiento muy similar a la simulación original, se aprecia en la Figura 5.

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 e-mail de los autores.

Conclusiones

Resulta sorprendente la potencialidad de la hoja de cálculo para verificar, recrear y crear simulaciones. Se aprecia que un usuario puede realizar tareas de programa-

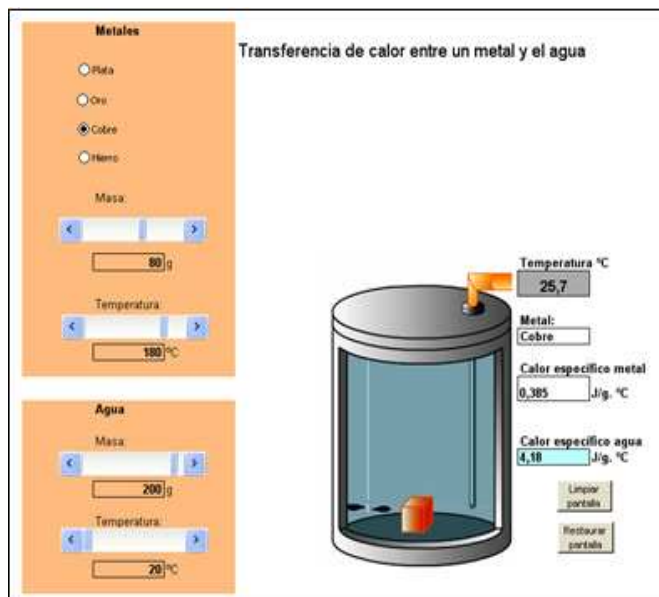


Figura 5. Producto final de simulación re-creada con la hoja de cálculo.

ción (o de resultados similares) sin necesidad de dominar un lenguaje específico. Al contrario de los lenguajes de programación que suelen quedar obsoletos, el funcionamiento básico de las hojas de cálculo es estable en el tiempo dado que las actualizaciones mantienen las principales características.

Estas actividades, relativamente sencillas, motivan a los estudiantes y profesores y su implementación dinamiza las clases de física. Esto es significativo, especialmente 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.

La revisión realizada permite concluir que, para la enseñanza de las ciencias, las principales ventajas de las hojas de cálculo son: (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 remplazar 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 y (h) mejoran la confianza de los docentes en las tecnologías informáticas.

Este tipo de simulaciones en la enseñanza de la física favorece la integración en dos ámbitos: (a) los distintos niveles de representación de los fenómenos: macroscópico (experimental), microscópico (o nanoscópico), simbólico (ecuaciones y fórmulas) y gráfico; y (b) los distintos momentos de enseñanza: teóricos, problemas y laboratorios, relacionando teoría y práctica. Sin embargo, 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 y/o refuerzo 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. Se espera haber contribuido con algunas ideas que disparen el entusiasmo y la creatividad de estudiantes y profesores.

Referencias

- Baker, J. y Sugden, S. (2003). Spreadsheets in education- The first 25 years. *Spreadsheets in Education*, 1(1), article 2.
- Batista, M. y col. (2007). Tecnologías de la información y la comunicación en la escuela: trazos, claves y oportunidades para su integración pedagógica. *MECyT*. Buenos Aires.
- Beichner, R. (1997). Visualizing potential surfaces with a spreadsheet. *The Physics Teacher*, 35(2), pp. 95-97.
- Britges, R. (1995). Fitting planetary orbits with a spreadsheet. *Physics Education*, 30(4), pp. 266-271.
- Brosnan, T. (1990). Using spreadsheets in the teaching of chemistry - 2: more ideas and some limitations, *School Science Review*, 71(256), pp. 53-59.
- Carson, S. (1995). Spreadsheets as dynamical modelling tools in investigations at GCSE and beyond. *Physics Education*, 30(2), pp. 89-94.
- Carson, S. (1996). Foxes and rabbits- and a spreadsheet. *School Science Review*, 78(283), pp. 21-27.
- Carson, S. (1997). The use of spreadsheets in science-an overview. *School Science Review*, 79(287), pp. 69-80.
- Coll, C., Mauri, T. y Onrubia, J. (2008). Análisis de los usos reales de las tic en contextos educativos formales: una aproximación sociocultural. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 10 (1). <http://redie.uabc.mx/vol10no1/contenido-coll2.htm>
- Cooke, B. (1997). Some ideas for using spreadsheets in physics. *Physics Education*, 33(2), pp. 80-87.
- De Jong, M. (1991). Computers in introductory physics. *Computers in Physics*, 5(1), pp.12-15.
- Diament, A. y Cleminson, A. (1996). Spreadsheets simulations of physical phenomena. *School Science Review*, 78(283), pp. 29-35.
- Dory, R. (1988). Spreadsheets for physics. *Computers in Physics*, 2(3), pp. 70-74.
- Elliott, C. (1988). Spreadsheet in science teaching. *School Science Review*, 70(251), pp. 87-93.
- Engelhardt, P., Schultz, S., Gastineau, J., Gjertsen, M. y Risley, J. (1993). Teaching the use of spreadsheets for physics. *The Physics Teacher*, 31(9), pp. 546-547.
- Esquembre, F. (2004). *Creación de simulaciones interactivas en Java: aplicación a la enseñanza de la Física*. Madrid: Pearson.
- Feinberg, R. y Knittel, M. (1985). Microcomputer spreadsheet programs in the physics laboratory. *American Journal of Physics*, 53(7), pp. 631-634.
- Field, R. (1995). A spreadsheet simulation for a Young`s double slits experiment. *Physics Education*, 30(3), pp. 230-235.
- Finnemore, D. (1990). More spreadsheets in science teaching. *School Science Review*, 71(257), pp. 94-98.
- Frank, M. y Kluk, E. (1990). Equations of motion on a computer spreadsheet: the damped harmonic oscillator and more. *The Physics Teacher*, 28(5), pp. 308-311.

- Gil, D., Carrascosa, J. y Martínez, S. (2000). Una disciplina emergente y un campo específico de investigación. En Perales, F.J. y Cañal, P. (comps.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, pp. 11-34. Alcoy: Marfil.
- Giorgi, S., Concari, S. y Cámara, C. (2005). Las tecnologías de la información y la comunicación (tic) en la formación de profesores de física. *Actas XIV Reunión Nacional de Educación en Física*, Bariloche.
- González, M., Capuano, V., Zalazar, J. (2009). Sobre cómo evoluciona el uso de las TICs en la enseñanza de la Física, en los últimos 10 años. *Memorias Decimosexta Reunión Nacional de Educación en Física*, San Juan.
- Goodfellow, T. (1990). Spreadsheets powerful tools in science education, *School Science Review*, 71(257), pp. 47-57.
- Guglielmino, R. (1989). Using spreadsheets in an introductory physics lab. *The Physics Teacher*, 27(3), pp. 175-178.
- Krieger, M. y Stith, J. (1990). Spreadsheets in the physics laboratory. *The Physics Teacher*, 28(6), pp. 378-384.
- Lombardi, O. (2011). Los modelos como mediadores entre teoría y realidad. En *Didáctica de las Ciencias naturales*, Coord. Lydia Galagovsky, pp. 83-93. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Marzocchi, V., Taleb, M., Padilla, M., Elli, B. y Marzocchi, D. (2007). Diseño de simuladores usando planilla de cálculo por alumnos ingresantes de Ingeniería. *II Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, La Plata.
- Misner, C. (1988). Spreadsheets tackle physics problems. *Computers in Physics*, 2(3), pp. 37-41.
- Osborn, P. (1987). Spreadsheets in science teaching, *School Science Review*, 69(246), pp. 142-143.
- Orvis, W. (1990). Fitting data to equations with spreadsheet programs. *Computers in Physics*, 4(1), pp. 99-103.
- Penman, D. (1990). An example of the use of a spreadsheets in the teaching of physics, *School Science Review*, 71(257).
- Pisano, F. (2010). Una computadora por alumno: modelos de implementación. El gran desafío. *Primer Congreso Internacional Educación y Nuevas Tecnologías*, San Nicolás.
- Raviolo, A. (2011). Enseñanza de la química con la hoja de cálculo. *Educación Química*, en prensa.
- Sánchez, C. (2002). *Proyectos con macros en Excel*. Buenos Aires: Users MP Ediciones.
- Sanmartí, N. y Izquierdo, M. (2001), Cambio y conservación en la enseñanza de las ciencias ante las tics, *Alambique*, 29, pp. 71-83.
- Tebbutt, M. y Flavell, H. (1995). *Spreadsheets in Science*. London: John Murray.
- Trumper, R. y Geldman, M. (2001). The measurement of g as a means of introducing analysis of experimental data. *School Science Review*, 82(301), pp. 97-100.
- Utges, G., Fernández P. y Jardon A. (2003). Simulaciones en la enseñanza de la Física. Nuevas prácticas, nuevos contenidos. *Memorias Decimotercera Reunión Nacional de Educación en Física*, Río Cuarto.
- Walter, K. (1989). Simulating physics problems with computer spreadsheets. *The Physics Teacher*, 27(3), pp. 173-175.
- Webb, L. (1993). Spreadsheets in physics teaching. *Physics Education*, 28, pp. 77-82.
- Whitmer, J. (1993). *Spreadsheets in Mathematics and Science Teaching*. Bloomsburg: SSMA.