

## Simulaciones en la enseñanza de la química

**Prof. Dr. Andrés Raviolo**

Universidad Nacional del Comahue. Bariloche. araviolo@bariloche.com.ar

### **Resumen**

Esta es una presentación en el campo de la Didáctica de las Ciencias, donde se comparten algunas experiencias e investigaciones propias sobre el uso de simulaciones en la enseñanza de la química. Se realiza una revisión crítica del empleo de simulaciones y animaciones, haciendo especial hincapié en los aportes didácticos que promueven y en las dificultades que pueden generar en la comprensión conceptual de los estudiantes.

Especial interés se da a las simulaciones que puedan ser construidas por los profesores y alumnos. En este sentido se profundiza sobre el potencial de dos programas que se hallan en toda computadora y que constituyen herramientas muy versátiles: (a) las hojas de cálculo, como el programa Excel y (b) los software de presentaciones, como el Power Point. Se muestran simulaciones que se pueden crear con estos dos programas y la complementariedad entre estos programas y otras simulaciones que están disponibles en, por ejemplo, Internet.

### **Objetivos:**

- . mostrar e incentivar a los participantes sobre simulaciones y animaciones como recursos útiles para la enseñanza de la química,
- . discutir sobre los aprendizajes y la motivación que generan en los alumnos.
- . utilizar distintos recursos gráficos dinámicos, desde simulaciones y animaciones ya hechas, hasta nuestras propias simulaciones.

### **Simulación y animación**

Una simulación es un proceso de interacción con objetos y modelos, que permite ponerlos en movimiento.

Las simulaciones ofrecen una visualización dinámica de los fenómenos en dos o en tres dimensiones. Además de las simulaciones que se ejecutan en la computadora, son simulaciones: juegos de rol, manipulaciones de modelos moleculares, artefactos, etc. Por ejemplo, la distribución y movimiento de alumnos en el aula simulando los tres estados de agregación de la materia, el profesor poniendo en movimiento a un modelo molecular compacto durante una explicación, o las máquinas y artefactos empleados para simular el equilibrio químico (Raviolo y Garritz, 2007).

Las simulaciones son particularmente útiles cuando por razones de seguridad, tiempo, económicas o administrativas, los estudiantes no pueden actuar directamente sobre el material estudiado.

Las diferencias entre una simulación y una animación estarían dadas en que en la animación se resalta aspectos cualitativos en cambio en la simulación cuantitativos. En general a ambas se las llama simulaciones.

### **Simulaciones y modelos científicos**

Las simulaciones o animaciones pueden constituir visualizaciones concretas de modelos científicos. Un modelo una construcción humana abstracta utilizada para conocer, investigar, comunicar, enseñar. Es una entidad abstracta, una representación simplificada de un hecho, objeto, fenómeno, proceso, que concentra su atención en aspectos específicos del mismo, y tiene las funciones de describir, explicar y predecir. Y permite intervenir eficazmente sobre el sistema (Adúriz y Morales, 2002; Raviolo, 2009).

En un sentido más restringido, un modelo es una herramienta de investigación, que se emplea para obtener información acerca del objeto de estudio el cual no puede ser observado o medido directamente (ej: átomo, molécula, estrella, dinosaurio, agujero negro). Tiene ciertas relaciones o correspondencias con el objeto de estudio que permiten al investigador derivar hipótesis del mismo. Pero, un modelo siempre difiere en ciertos aspectos del objeto. Dependiendo de los intereses de una investigación específica algunos aspectos del objeto son deliberadamente resaltados y otros son excluidos del modelo (Van Driel y Verloop, 1999). La ciencia utiliza técnicas de simulación para manipular modelos con el objetivo de incrementar la comprensión de sistemas complejos. Las Tics pueden transformar la enseñanza de la misma forma que cambiaron la construcción de la ciencia, que transformaron la investigación científica, que modificaron las relaciones entre la experimentación y la teoría.

Es fundamental diferenciar las visualizaciones del modelo y el modelo científico en sí. La visualización por sí sola no explica, describe, predice, ni permite intervenir eficazmente sobre el sistema.

#### **Modelo (abstracto)**

#### **Visualizaciones (concretas)**

Las imágenes no son en sí el modelo, el modelo es más que una o varias imágenes asociadas a él, una imagen por sí sola no describe, explica y predice, es decir no cumple las funciones de modelo. Un modelo postula términos abstractos, teóricos

- que remiten indirectamente a observables del sistema
- organizados en una red conceptual
- emplea lenguajes simbólicos específicos
- establece relaciones (estructurales-funcionales) de semejanza operativas (empíricamente contrastables) (Aduriz y Morales, 2002).

Por ejemplo, en una animación en la cual se ven esferas (que representan átomos) que se mueven a mayor velocidad a medida que se aumenta la temperatura, existen una serie de conceptos relacionados que dan sentido a la visualización del modelo: átomo, energía cinética promedio, temperatura, vibración, energía, enlaces ...

### **Simulaciones y analogías**

Una analogía es una comparación de estructuras y/o funciones entre dos dominios: un dominio conocido y un dominio nuevo o parcialmente nuevo de conocimiento (Duit, 1991). Comprenden: (a) una determinada cuestión desconocida o no familiar (objetivo, objeto), (b) una cuestión conocida (análogo, base) que resulta familiar para el sujeto que intenta aprender y (c) un conjunto de relaciones que se establecen entre (a) y (b) o serie de procesos de correspondencia entre los componentes de ambos. Además, existen atributos no compartidos que constituyen las limitaciones de la analogía.

Por ejemplo las analogías de: choques de bolas de billar (modelo cinético molecular), analogías con personas o con bolitas dentro de una botella (diferencias entre sólido, líquido o gas), el auto que tiene subir una montaña (energía de activación), el pintor y el despintor (equilibrio químico), la pelea de puños (teoría de las colisiones de la reacción química), etc.

Muchas animaciones que encontramos en Internet ponen en movimiento analogías. Estas simulaciones generalmente tienen el inconveniente que pueden generar concepciones alternativas por el uso de imágenes animadas y antropomórficas. Por ejemplo, la analogía de la playa de estacionamiento de automóviles y la de los vecinos que se arrojan manzanas para el equilibrio químico, o la de los perros para los enlaces químicos. (Buscar en Internet de la siguiente forma: “chemical bond dog analogy swf”)

<http://www.bsc2.ehb-schweiz2.ch/Chemie/Simulationen%20Chemie/Bindung/Bindung%20Hundeanalogue.htm>

### **Simulaciones y enseñanza de la química**

En la enseñanza de la química las simulaciones facilitan la visualización de la dinámica de un proceso químico, mejorando la comprensión de los conceptos, por ejemplo a nivel molecular. Con ello, promueven que los estudiantes conecten más efectivamente entre sí las representaciones macroscópicas, simbólicas y microscópicas de los fenómenos químicos. Por ejemplo, ayudan a superar la imagen estática y en dos dimensiones que brindan los modelos representados en papel.

Es importante discutir sobre la relación entre los experimentos de laboratorio y las simulaciones. Se reconoce que no es posible, ni necesario, que los alumnos descubran todo en el laboratorio. Algunos conceptos importantes de la ciencia no surgen de actividades manipulativas directas, como es el caso de la naturaleza corpuscular de la materia. Además, algunas actividades de laboratorio pueden implicar un gran esfuerzo de material, aparatos y tiempo. En ocasiones los resultados obtenidos en estos aparatos pueden tener un gran error experimental, que dificulte las generalizaciones de los estudiantes e impida el cumplimiento de los objetivos educativos propuestos. También se puede correr el riesgo de rotura o descalibración de aparatos costosos. Por ello es frecuente que se recurra a las simulaciones. Pero, las simulaciones no deberían reemplazar al trabajo experimental en ciencias, sino más bien ampliarlo y complementarlo con otras experiencias activas con ideas y problemas científicos.

La simulación permite hacer que una realidad sea más fácilmente comprensible para el estudiante, que interactúa en forma dinámica con los modelos que constituyen esa simulación. El estudiante es puesto en una situación que requiere su participación activa, iniciando y llevando a cabo secuencias de búsqueda, de acciones y toma de decisiones.

*“Las simulaciones son un medio para la enseñanza y el aprendizaje con un gran potencial para mejorar las prácticas educativas. Las simulaciones pueden incrementar el encuentro de los estudiantes con sistemas dinámicos con un menor gasto comparado al que generalmente involucraría el uso de materiales reales. Las simulaciones pueden mejorar el aprendizaje y complementar la efectividad de otras técnicas de enseñanza. Simulaciones apropiadas pueden hacer el aprendizaje de las ciencias más interesante y relevante a los estudiantes y pueden incrementar su motivación. Simulaciones bien diseñadas pueden ayudar a promover importantes objetivos de la enseñanza y del aprendizaje de las ciencias. Las simulaciones no deberían reemplazar al trabajo experimental en ciencias, sino más bien ampliar las experiencias activas con las ideas y problemas científicos dinámicos”* (Luneta y Hofstein, 1980).

### **Propuestas accesibles**

Sobre la base de experiencias propias con las Tics, se utilizan dos programas que se encuentran disponibles en toda computadora y que constituyen herramientas muy versátiles:

- . Animaciones con un software de presentaciones, como el Power Point
- . Simulaciones con una hoja de cálculo, como el programa Excel

También se ofrecen ejemplos de la complementariedad entre estos programas y otras simulaciones, por ejemplo animaciones y simulaciones obtenidas de Internet. Constituyen recursos para todo público, porque no requieren el conocimiento de programas y lenguajes complejos.

### **Animaciones con Power Point**

Son muy elaboradas y motivadoras las animaciones desarrolladas por Joel Weiner, que pueden obtenerse de:

<http://facweb.eths.k12.il.us/weinerj/>

<http://sp.eths.k12.il.us/weinerj/default.aspx>

También se encuentran algunas animaciones con la extensión pps en:

[http://web.educastur.princast.es/proyectos/biogeo\\_ov/animaciones/indice\\_anim.htm](http://web.educastur.princast.es/proyectos/biogeo_ov/animaciones/indice_anim.htm)

(además esta página tiene simulaciones con extensión swf para biología, física y química)

En las animaciones con Power Point, se logra el efecto simulación con las flechas, dejando apretado el tecla de la flecha hacia abajo. Con ello dan la posibilidad de controlar el tiempo y de volver para atrás.

Se puede lograr que pasen las diapositivas en forma continua y automáticamente a partir de las opciones de: Presentación, Transición de diapositivas, Diapositiva avanzada, sacar tilde (al hacer clic con el mouse), poner tilde (automáticamente después de), Aplicar a todas las..., Presentación

Un interesante consejo es realizar búsquedas en Internet agregándole al concepto químico ppt o pps. Por ejemplo: “reacciones químicas ppt” o “chemical reactions ppt”. Aunque generalmente se obtienen presentaciones de clases teóricas, no animaciones como las presentadas por Weiner, por ello se puede agregar a las palabras anteriores “animación”

Para pasar de pps a ppt se deben guardar en una carpeta y se abren desde el programa Power Point. Si se desea guardar una presentación ppt en pps, se procede: Guardar como, Presentación con diapositivas de Power Point.

Dado que no requiere mayor conocimiento del programa resulta sencillo crear animaciones en Power Point. Por ejemplo se presentó una muy sencilla realizada sobre la teoría de las colisiones de la cinética química, mostrando el efecto de la orientación espacial al momento del choque, por ejemplo el caso de choque no efectivo. Se presenta a los alumnos esta animación ya construida y se solicita modificarla y hacerla como choque efectivo. Para ello deben marcar las figuras y con el botón derecho las opciones de Agrupar: agrupar, desagrupar...

En definitiva, se propone: buscar, sólo visualizar, modificar y crear.

Estas animaciones presentan las siguientes ventajas:

- . Control total sobre la animación
- . Espacio para la creatividad
- . Hacerlas uno de acuerdo a objetivos propios.
- . Usar las muchas disponibles (búsquedas con .ppt)
- . Modificarlas (recortarlas, traducirlas ...)
- . Utilizarlas como tarea extra clase, ampliar el nº de horas que los estudiantes abordan el contenido

Y como desventajas, la de ser muy laboriosas.

### **Simulaciones con la Hoja de cálculo**

Nuestra experiencia con las hojas de cálculo se ha centrado en dos líneas de trabajo. La primera, sobre la búsqueda y diseño de actividades tipo, que constituyan un puente entre el contenido científico abordado y el conocimiento operativo de informática (Raviolo, 1999 y 2003). La segunda consiste en la evaluación de experiencias didácticas implementadas sobre la aplicación de esa tipología de actividades con alumnos; por ejemplo, la realización de la totalidad de las prácticas de problemas de química, de un curso universitario, en la sala de informática utilizando la hoja de cálculo (Raviolo, 2002 y 2005). Las actividades diseñadas, así como la metodología seguida en las experiencias didácticas, pueden servir de guía para docentes, de matemática o de ciencias, que intenten implementar actividades de enseñanza con la hoja de cálculo en distintos niveles educativos.

En estos artículos se describen 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; (h) mejoran la confianza de los profesores en las tecnologías informáticas.

Las hojas de cálculo permiten realizar secuencias de operaciones que actúan como programas sin necesidad de que el usuario domine un lenguaje de programación. Además de que su funcionamiento básico es estable en el tiempo, dado que las actualizaciones mantienen las principales características de su funcionamiento. En cambio los lenguajes de programación suelen ser reemplazados totalmente por otros. Carson (1997) sostiene que la utilidad de una hoja de cálculo para la enseñanza de las ciencias está limitada más por nuestra imaginación que por el potencial del software.

A continuación se muestran dos tipos de actividades con la hoja de cálculo:

#### **. Verificar la veracidad de simulaciones encontradas en Internet**

La idea es reproducir o recrear con la hoja de cálculo simulaciones que bajamos de Internet, que se presentan como cajas negras, y verificar sus resultados recreando los modelos matemáticos y ecuaciones que comprenden.

¿Qué ecuaciones o modelos matemáticos están incluidos en esta simulación?

Se puede tratar de que el resultado del trabajo con la hoja de cálculo tenga un formato similar a la simulación que se esta reconstruyendo.

Para realizar búsquedas se recomienda el siguiente formato:

“ley de Boyle swf” o “Boyle law swf” (Shockwave Flash Objet)

Generalmente estas simulaciones swf no permiten ser guardadas directamente. Por ello se recomienda proceder de la siguiente forma: borrar los archivos temporales de Internet (Para Internet Explorer: Herramientas, Opciones de Internet, Historial de

exploración, Eliminar), buscar las simulaciones, ejecutarlas, y luego buscar los archivos que quedan como temporarios (Historial de exploración, Configuración, Ver archivos, buscar entre los que tengan terminaciones swf, copiar y pegar en alguna carpeta). Una interesante página es:

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

Por último si no logramos guardar una simulación y nos interesa, se pueden realizar varias impresiones de pantalla (tecla Impr Pant o print screen, abrirlas con, por ejemplo Picture Manager, recortarlas, copiarlas y pegarlas en diapositivas de Power Point y pasarlas con el efecto continuidad de las animaciones.

### **. Método de generación de valores de x**

Este método general para todo tipo de equilibrio químico, permite hallar la composición del sistema en equilibrio, y predecir cómo evolucionará ante distintas perturbaciones. Está explicado en el artículo Raviolo (2003).

Esta simulación presenta las siguientes ventajas:

- . se aplica a todo tipo de equilibrio químico
- . evita la complejidad matemática, la resolución de ecuaciones cuadráticas, al cubo o a la cuarta y pone la atención en los aspectos químicos.
- . aplica los principios de la relación estequiométrica (diferencia interacción de composición)
- . verificar cuantitativamente del principio de Le Chatelier (superar regla memorística)
- . da respuestas a preguntas del tipo ¿qué pasa si...?, ¿qué ocurre si aumenta el volumen del sistema?
- . permite arribar y o tratar conceptos complejos y centrales de la temática
- . diferencia explícitamente la situación inicial de situación en equilibrio
- . evita emplear la regla del 5% para despreciar o no el x restando en c-x

### **Uso de simulaciones como estrategia de integración**

La utilización de las simulaciones en la enseñanza de la química debería favorecer la integración:

- De los distintos niveles de representación de los fenómenos químicos: macro, micro (submicro o nanoscópico), simbólico y gráfico.
- De los distintos momentos de enseñanza: teóricos, problemas y laboratorios. Relacionan teoría y práctica.

En este sentido, las simulaciones pueden ayudar especialmente 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. Brindando una discusión teórica y modelada de problemas y una explicación a experimentos realizados en laboratorio. Se pueden emplear antes o después del práctico de laboratorio:

. Antes del laboratorio: presentación, problematización

Ver una animación antes de realizar el práctico de laboratorio, por ej. sobre calorimetría, el uso de calorímetros. Búsqueda “calorimetry swf” Por ejemplo:

<http://www.chemfiles.com/flash/calorimeter.swf>

. Después de realizada la práctica de laboratorio: cierre, aplicación, profundización.

Respecto a la integración de los distintos niveles de representación de los fenómenos químicos, vemos que la simulación 4M:Chem, por ejemplo, muestra cuatro ventanas correspondientes a los 4 niveles macro, micro, simbólico y gráfico. Giordan y Gois (2009) en un completo artículo hacen una revisión de estos entornos virtuales en función de la visualización que ofrecen y de su accesibilidad. Destacando cómo han evolucionado estos recursos computacionales para la visualización desde la presentación a la manipulación hasta llegar a la creación.

### **Inconvenientes del uso de simulaciones:**

Si bien es indudable la motivación e interés que generan en los alumnos, debemos tomar precauciones dado:

- Su utilización trivial y anecdótica
- Su recepción intelectualmente pasiva
- Que genere concepciones alternativas

Como ya se mencionó muchas simulaciones, y especialmente las que ponen en movimiento analogías, pueden conducir a la construcción de imágenes animistas y/o antropomórficas de los contenidos científicos. Lo mismo ocurre en las aulas con los juegos de rol, la teatralización o dramatización, donde los estudiantes representan procesos naturales.

También algunas no hacen una correcta relación entre los niveles macro y micro, por ejemplo, se ven como flotando las moléculas de agua en un medio continuo, en un líquido. Otras muestran al equilibrio químico como compartimentado, los reactivos en el recipiente de la izquierda y los productos en el de la derecha, o que se alcanza el equilibrio cuando las cantidades son iguales a los coeficientes estequiométricos (Raviolo, 2006). En definitiva muchas simulaciones tienden a que los estudiantes conciben o visualicen mentalmente al sistema como la ecuación química, donde no diferencian composición de interacción (por ejemplo la de Weiner de los sándwich para estequiometría). De las simulaciones presentadas por estos autores se puede acceder a CHEMnet, aunque previamente hay que registrarse:

<http://www.chemievorlesung.ipn.uni-kiel.de/>

### **Conclusiones**

Se dice que las Tics para la educación cuestionan los papeles de la escuela y del profesor. Este cuestionamiento no significa hacer prescindibles a los establecimientos educativos y a los docentes, por el contrario, son los profesores los que darán el marco adecuado y formal para el aprendizaje. Las Tics cuestionan la institución educativa actual cuando ésta mantiene una actitud cerrada, impermeable y reticente a los cambios. Su inclusión debe cambiar los estilos de enseñanza más allá de un cambio cosmético, de un barniz bajo el cual se esconde la vieja enseñanza tradicional. No se trata de una actualización y modernización de herramientas tecnológicas, se trata de superar lo que tan a menudo se afirma: ciencia y alumnos en el siglo XXI y escuelas y profesores del siglo XIX.

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 generar actividades que fomenten aprendizajes conceptuales a partir de las simulaciones.

El trabajo frente a la computadora respeta los ritmos individuales de aprendizaje. Aunque el docente debe planificar la articulación de los momentos individuales y grupales, que favorezcan la colaboración y el enriquecimiento.

Al emplearlas como tareas extra aula aumentan el tiempo que los alumnos están operando con contenidos de química.

Para que generen aprendizajes significativos los estudiantes deben estar intelectualmente activos: los alumnos realmente interactuando, pensando y poniendo en juego los conceptos científicos. Superando el uso anecdótico y meramente activista de la computadora.

El docente también está activo frente a una simulación, o una imagen, 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 o animación y pedirle a los estudiantes que la expliquen en el papel. Una consigna podría ser: “Explique la siguiente animación empleando por lo menos una vez cada uno de los siguientes conceptos: ...”

En síntesis, las ventajas de usar simulaciones son:

- . motivan a los estudiantes
- . respetan ritmos individuales de aprendizaje
- . dinamizan la clase de química
- . brindan imágenes que se recuerdan con más facilidad
- . dan una imagen dinámica y tridimensional de los procesos químicos
- . relacionan los distintos niveles de representación de los fenómenos químicos
- . integran teoría y práctica
- . aumentan el tiempo en que los alumnos operan con conceptos químico

Las dificultades que pueden promover son:

- . su uso superficial y anecdótico
- . su recepción pasiva
- . desviar al atención de los objetivos pedagógicos y conceptos básicos a aprender
- . pérdida de interacción e intercambio grupal
- . generar concepciones alternativas
- . promover concepciones animistas o antropomórficas

Tanto para efectivizar las ventajas de las simulaciones en las clases como para minimizar sus dificultades, se requiere del docente una planificación previa y 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, es necesario negociar el significado de las imágenes que presentan las simulaciones. Que los estudiantes y profesores pongan en palabras dichas imágenes, comprobando los significados que le han otorgado los alumnos y relacionándolas con los objetivos de enseñanza.

## Bibliografía

Adúriz-Bravo, A. y Morales, L. (2002). El concepto de modelo en la enseñanza de la Física- consideraciones epistemológicas, didácticas y retóricas. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 19(1), 76-88.

Carson, S.R. (1997). The use of spreadsheets in science-an overview. *School Science Review*, 79(287), 69-80.

Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science, *Science Education*, 75(6), 649-672.

Giordan, M. y Gois, J. (2009). Entornos virtuales de aprendizaje en química: una revisión de la literatura. *Educación Química*, 20(3), 301-303.

Hofstein, A. y Luneta, V. (1980) El role of the laboratory in science teaching: research implications. *NARST symposium*, Boston, Massachusetts.

Raviolo, A. (1999). Cinco tipos de actividades con la hoja de cálculo en la enseñanza de la Química (Primera parte). *Educación en la Química*, 5(3), 20-25.

Raviolo, A. (2002). La hoja de cálculo en la enseñanza de las ciencias: experiencia didáctica en química universitaria. *Revista de Educación en Ciencias (Journal of Science Education)*, 3(2), 80-83.

Raviolo, A. (2003). Hojas de cálculo y enseñanza de las Ciencias: algunas actividades con gráficos. *Revista de Educación en Ciencias (Journal of Science Education)*, 4(1), 44-45.

Raviolo, A. (2003). Más actividades con la hoja de cálculo para la enseñanza de las ciencias. *Revista de Educación en Ciencias (Journal of Science Education)*, 4(2), 99-101, 2003.

Raviolo, A. (2005). La hoja de cálculo en la resolución de problemas de química. Una experiencia realizada durante cuatro años. *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería*, 10, 29-36.

Raviolo, A. (2006). Las imágenes en el aprendizaje y en la enseñanza del equilibrio químico”, *Educación Química* (México), 17(nº extraordinario), 300-307.

Raviolo, A. y Garritz, A. (2007). Analogías en la enseñanza del equilibrio químico, *Educación Química*, 18(1), 16-29.

Raviolo, A. (2009). Modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química”. *Educación Química*, 20(1), 55-60.

Van Driel, J. y Verloop, N. (1999). Teachers` knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.