

Entornos virtuales de aprendizaje en química: una revisión de la literatura*

Marcelo Giordan¹ y Jackson Gois^{1,2}

ABSTRACT (A Review on Virtual Learning Chemistry Environments)

Visual information plays a central role in chemistry. The evolution of computational technologies in the last decade brought new opportunities to develop virtual learning chemistry environments to education that might change the ways of presenting and visualizing the chemistry knowledge. In this paper we present thirteen virtual learning environments related to chemistry teaching, and we compare them in terms of functionalities of visualization, virtual manipulation and possibility of creating new chemical structures.

KEYWORDS: virtual learning environment, visualization, chemistry teaching.

En este número, en el que cumplimos veinte años de salir a la luz, el tema de la sección DE ANIVERSARIO es el de las TIC y la enseñanza de la química, un tema realmente de actualidad. *Educación Química* agradece a Jorge Rafael Martínez Peniche, miembro de su consejo editorial, la labor de edición desarrollada para hacer realidad esta sección.

Gran parte de las bases teóricas y prácticas de la Química como Ciencia se iniciaron cuando el conocimiento humano en las ciencias exactas como un todo, fue dominado por las Matemáticas. Según Habraken (1996), la Química tuvo su evolución, a partir de un profundo conocimiento basado en lenguaje algebraico y verbal, hacia un lenguaje pictórico internacional, donde la percepción del universo de las partículas atómicas, moleculares y supramoleculares depende de la memoria visual, de la imaginación visual y del procesamiento mental de la información visual.

Estas informaciones visuales son referenciadas en la realidad a través de los sentidos humanos. En la química supramolecular, por ejemplo, el desarrollo de modelos moleculares se basa en fenómenos estéticos y en imágenes que se refieren tanto a las moléculas y objetos comunes (figura 1), o que simbólicamente crean un vínculo explícito entre el mundo de las

partículas de escala nanoscópica y los objetos cotidianos (Schummer, 2006).

Esta capacidad de pensar en términos de partículas reveló parte importante de la economía² de la materia, que promovió el gran conocimiento humano acerca de la constitución, tanto de materiales importantes para la supervivencia, como de la propia maquinaria biológica. En las últimas décadas, los científicos vinculados a actividades académicas e industriales han creado y validado nuevas herramientas de investigación a través de la ingeniería de software, las cuales se integran a las ciencias que pueden beneficiarse de la visualización molecu-

² Se habla aquí de economía como forma de producir bienes de consumo y del impacto que tuvo en conocimiento de su constitución.

¹ Universidade de São Paulo – Faculdade de Educação. Departamento de Educação y Metodología de la Educación Comparada, Brasil.

Correo electrónico: giordan@usp.br

² Universidade Federal do Paraná – Setor Litoral, Brasil.

Correo electrónico: jackgois@usp.br

* *Educación Química* agradece a Marcelo Giordan la coordinación de la traducción al español de su artículo, la cual fue realizada por Daniela Rodríguez. La revisión de la misma corrió a cargo del editor de este número, Jorge Rafael Martínez Peniche. Las citas electrónicas hemos preferido colocarlas a pie de página en esta ocasión, para que el lector avezado pueda ir las consultando conforme avanza, sin necesidad de ir al final del escrito.

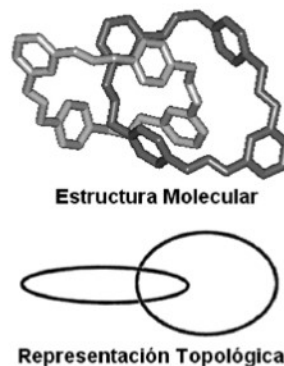


Figura 1. La figura representa la estructura de una molécula que se parece a un objeto común, conocido como “Catenano”.

lar, tales como la Química, la Bioquímica y la Biología Molecular, tal es el caso de varias tecnologías de hardware y software disponibles en la actualidad (Frenkel, 1990). Por lo tanto, es un hecho que la información y las tecnologías de la comunicación son una parte integrante de los entornos modernos de investigación.

A pesar de ello, los currículos escolares de Química se encuentran alineados a la investigación moderna de la Química, a la tecnología y, más importantemente, a la sociedad en sus demandas y preguntas (Lopes, 1999; Mortimer, Machado y Romanelli, 2000). Este aislamiento, intencional, o no, de los programas de las escuelas puede estar directamente relacionado con la creciente disminución proporcional de la demanda de los cursos de licenciatura en el campo de la Química en todo el mundo durante las últimas tres décadas (Lowe, 1968; Roberts, 1995).

La vinculación de la información y las tecnologías de la comunicación con la educación ha generado diversas posturas. La actitud inicial se ha traducido en que el uso de computadoras para la enseñanza se caracteriza simplemente como una versión computarizada de los métodos de enseñanza tradicionales con el fin de reproducir en un equipo lo que sucede en el aula.

El cambio en el papel de las tecnologías informáticas para la educación ha ocurrido al cuestionar los papeles de la escuela y el profesor. En virtud de ello, abogamos por que la verdadera función de los aparatos tecnológicos no debe ser la enseñanza en sí misma, sino más bien crear las condiciones para el aprendizaje a través de la articulación de herramientas culturales y herramientas tecnológicas que respondan a los propósitos de la educación (Giordan, 2008). Esta vinculación se desarrolla con técnicas computacionales para la programación de los entornos virtuales de aprendizaje (EVA). De esta manera, el maestro se posiciona como un organizador de las actividades de la educación en los EVA y puede mediar en el proceso de desarrollo intelectual de los estudiantes. Las tendencias en el uso de ordenadores en la educación como medios para promover el aprendizaje han demostrado que pueden ser importantes aliados en este proceso (Valente, 2003).

Actualmente, los navegadores de hipertexto son una herramienta universalmente presente en las computadoras. Podemos citar como ejemplos a Internet Explorer®, y a Firefox®. Es a través de este tipo de herramienta que los usuarios tienen acceso a una enorme cantidad de páginas de hipertexto en Internet, además de ser frecuentemente la entrada para acceder a cursos a distancia en EVA, motores de búsqueda, lectores de correo electrónico, etc.

Los recursos computacionales para la visualización han cambiado a lo largo de la última década, desde tutoriales instalados en el equipo, pasando por los materiales disponibles en CD-ROM y, por último, aquellos accesibles a través de Internet. Las herramientas también han cambiado, desde la simple presentación, a la manipulación e incluso la creación de objetos moleculares tridimensionales virtuales. De simples herramientas para el dibujo, los recursos disponibles para la

enseñanza de la Química cuentan ahora, incluso con herramientas de simulación de mecánica y dinámica moleculares, que hasta hace pocos años se encontraban disponibles sólo para los laboratorios de investigación científica. El acceso a Internet ha contribuido a superar las limitaciones de procesamiento del equipo local, de modo que se pueden utilizar a distancia la configuración y capacidad de cálculo de otros ordenadores, e incluso de clusters.

En el caso de la Química existen diversas herramientas para la edición y visualización de objetos moleculares bidimensionales o tridimensionales. Este tipo de herramienta es importante porque gran parte del conocimiento químico se refiere a un tamaño nanoscópico no visible a simple vista o aún con la ayuda de equipo. Con estas herramientas se pueden visualizar objetos que permiten hacer énfasis en aspectos importantes de la química de los átomos, las moléculas y la estructura supramolecular. Un importante visor gratuito de los objetos moleculares disponible en la Internet es el plug-in MDL-Chime,³ ampliamente utilizado por la comunidad académica. Otros ejemplos son los applets escritos en lenguaje Java®, como Jmol⁴ y JaMM.⁵ Además, existen programas que no dependen de los navegadores como Chemdraw®⁶ y ChemSketch®,⁷ que además de la posibilidad de visualizar, ofrecen al usuario la posibilidad de editar los objetos moleculares visualizados.

También existen herramientas para la creación de objetos animados de sustancias químicas específicas, tales como Flash® de Adobe,⁸ y 3ds Max por Autodesk®.⁹ Con estas herramientas se pueden crear animaciones con gráficos simples que simulan el movimiento en dos y tres dimensiones.

Los softwares de simulación para mecánica y dinámica moleculares son herramientas para la creación avanzada de objetos moleculares con propiedades que corresponden al conocimiento químico actual. Estas herramientas permiten crear objetos moleculares tridimensionales utilizando parámetros teóricos y empíricos para simular el movimiento atómico y molecular. Paquetes de programas como VMD,¹⁰ Gaussian,¹¹ Insight®,¹² y Tinker¹³ se utilizan ampliamente en el ambiente académico para estudiar las propiedades de los productos químicos y bioquímicos y en la actualidad, cuentan

³ <http://www.symyx.com>, consultado en 07/05/2009.

⁴ <http://jmol.sourceforge.net>, consultado en 07/05/2009.

⁵ <http://www.iuamsc.indiana.edu/graphics/jamm2.1.html>, consultado en 07/05/2009.

⁶ <http://www.cambridgesoft.com>, consultado en 07/05/2009.

⁷ <http://www.acdlabs.com/download>, consultado en 07/05/2009.

⁸ <http://www.adobe.com>, consultado en 07/05/2009.

⁹ <http://usa.autodesk.com>, consultado en 07/05/2009.

¹⁰ <http://www.ks.uiuc.edu/Research/vmd>, consultado en 07/05/2009.

¹¹ <http://www.gaussian.com>, consultado en 07/05/2009.

¹² <http://www.accelrys.com>, consultado en 07/05/2009.

¹³ <http://dasher.wustl.edu/tinker>, consultado en 07/05/2009.

con gran capacidad para el cálculo de las propiedades e interfaces gráficas avanzadas que permiten al usuario manipular las variables y los parámetros de los sistemas. Debido a la alta especificidad de las teorías y cálculos que componen este tipo de programas, su uso se limita a expertos en simulaciones químicas, por lo que son muy difíciles de utilizar por los principiantes en la química.

En los últimos años se han hecho esfuerzos para tener disponibles este tipo de recursos de forma accesible para los no especialistas. La Indiana University en su centro de la estructura molecular,¹⁴ desarrolló una interfaz simplificada para el uso de recursos de computación, donde el usuario puede introducir una estructura en un programa de simulación y visualización molecular. En este caso, el usuario recibe como respuesta una imagen bidimensional estática de la estructura introducida.

La capacidad de procesamiento de los ordenadores ya no parece ser un obstáculo para el desarrollo de entornos virtuales o de programas computacionales con diferentes propósitos. Las computadoras con procesadores y memoria suficiente para ejecutar varios sistemas operativos pueden ser adquiridos a un costo de menos de quinientos dólares americanos. En el momento de la presentación de este trabajo, un cluster de ocho procesadores se podía montar, en forma simplificada, a un costo de mil doscientos dólares americanos.¹⁵

La etapa actual de desarrollo de tecnologías de información y comunicación permite la creación de entornos virtuales que exploran las posibilidades de comunicación, el procesamiento y las capacidades gráficas de las computadoras. Con esto, se hace necesario explorar nuevas estrategias para la enseñanza, que vayan más allá del ámbito de aplicación de los instrumentos tradicionales. Especialmente para la educación en la ciencia, debemos considerar que el ordenador puede transformar la forma de la enseñanza, de la misma forma en que ya está alterando la forma de la construcción de la ciencia (Giordan, 1999) y cambiando las relaciones entre la teoría y la experimentación.

Los entornos virtuales independientes de la plataforma constituyen realmente un modelo de desarrollo y de distribución a través de la Internet a partir de una gran variedad de medios de comunicación. Los entornos virtuales basados en HTML y los navegadores de hipertexto se consolidaron como más apropiados para el desarrollo de nuevos entornos para la educación en las universidades. Esta opción de desarrollo de EVA es la de menor costo, ya que únicamente es necesaria una sola plataforma para la programación, que exige de los desarrolladores cada vez menos tiempo para su instrumentación, ya que no hay necesidad de desarrollar un código fuente para cada plataforma, a saber, Windows®, MacOS-X®, GNU-Linux o BSD-Linux.

En la década de 1990 una nueva generación de EVA para la educación cobró impulso, a raíz del cambio significativo en la Internet debido a la creación del primer navegador de hipertexto y al hecho de que Internet dejó de ser una red exclusivamente académica, incorporando a diferentes sectores de la sociedad. El desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) permitió la creación de entornos virtuales específicos para la enseñanza de la química en la última década. Estos entornos virtuales aprovechan las posibilidades tecnológicas disponibles cada momento e incorporan los nuevos paradigmas que acompañan la evolución tanto de las computadoras personales, como de la Internet.

Frente a la compleja relación entre el desarrollo de las TIC y la producción de EVA, en este trabajo centramos nuestra atención de manera sistemática en la comprensión de las características de estos ambientes y su evolución desde la integración de los navegadores a Internet hasta el año 2005. Nuestra intención con esta revisión de la literatura es provocar el debate sobre los vínculos explícitos e implícitos entre el desarrollo de las TIC, la producción de los EVA y las contribuciones de la investigación en Educación en Química.

Metodología

Hemos realizado una revisión de la literatura disponible sobre EVA de Química. A partir de esta revisión agrupamos los ambientes computacionales con opciones de visualización en al menos dos aspectos: la representación química (macroscópica, nanoscópica o simbólica) y su accesibilidad para los estudiantes de la escuela secundaria.

Las representaciones son una parte importante de los conocimientos químicos, como una ciencia que se ocupa de la materia en una escala nanoscópica, de hecho, y se han utilizado para comunicar conceptos a los estudiantes en la escuela secundaria y en la universidad. Actualmente es de base amplia la idea de que el conocimiento químico se construye con la combinación de las dimensiones macroscópica, nanoscópica y simbólica de la realidad (Johnstone, 1993; Gabel y Bunce, 1994; Garnet *et al.*, 1995; Gabel, 1998; Bowen, 1998; Ardac, 2004; Giordan y Gois, 2005; Gois y Giordan, 2007).

Como criterio para la selección de EVA, juzgamos necesario que el entorno permitiera la realización de actividades educativas para los contenidos de la escuela secundaria, y por tanto las herramientas simples de visualización molecular y los softwares propios para la investigación o para su uso exclusivo en la Educación Superior no fueron considerados. Tampoco se consideraron los sitios de Internet que contienen sólo información o actividades de enseñanza de la química, ni los portales de repositorios de software. Investigamos los entornos virtuales publicados entre los años 1994 a 2005 en algunas de las principales revistas internacionales de investigación de la investigación. Junto con el análisis de estos ambientes, presentamos algunos aspectos que caracterizaron el estado de la tecnología computacional por año, como una forma de contrastar nuestro examen con datos que revelan la evolución de esta tecnología.

¹⁴ <http://www.iumsc.indiana.edu>, consultado en 07/05/2009.

¹⁵ <http://www.calvin.edu/~adams/research/microwulf/>, consultado en 07/05/2009.

Resultados

1994-4M: CHEM

En 1994, el término “convergencia tecnológica” se refería a la combinación, en la pantalla de ordenador del contenido en formato de texto y gráficos. La lectura y transmisión de datos se realizaba a través de disquetes de diferentes tamaños, y la presencia de la unidad de CD-ROM en las computadoras era universalmente aceptada, aunque no se preveía el proceso de sustitución por el DVD-RW. Los usuarios interesados en acceder a la información en formato de CD-ROM debían buscar en tiendas especializadas en equipo a precios poco accesibles. El acceso a Internet se hacía con protocolos de comunicación relacionados con el ambiente UNIX, tales como telnet, ftp, gopher, lynx, WAIS, y el concepto del navegador de hipertexto acababa de nacer con el programa Mosaic. Los ordenadores para uso personal disponibles comercialmente en Brasil tenían un microprocesador de 100 MHz, memoria RAM de 16 MB, 100 MB de disco duro y monitores con una resolución VGA (640 x 480).

Graziadei y McCombs (1995) predijeron cómo sería el aula del siglo 21, donde los chicos accederían a la Internet y el principal método de trabajo sería la colaboración de las personas en grupos para la construcción del conocimiento. Los autores también pensaban que los *navegadores* del siglo 21 importarían los datos en un formato bruto para que el usuario pudiera presentarlo de la manera que considerara más conveniente.

En este contexto, Russell y Kozma (1994) desarrollaron un EVA denominado 4M:CHEM, en el cual era posible la visualización simultánea de cuatro ventanas relacionadas con un único experimento. Las cuatro ventanas podían ser vistas individualmente o en cualquier combinación, en un navegador desarrollado específicamente para este propósito. Cuando se muestra más de una ventana, las acciones de cada una de ellas se sincronizan.

La visualización del nivel macroscópico ocurre a través de las ventanas que permiten la visualización de los videos del experimento, así como los gráficos de las propiedades macroscópicas. El programa ofrece 32 diferentes experimentos sobre equilibrio heterogéneo en disolución, en sólidos o en estado gaseoso. Algunas animaciones del entorno permiten a los estudiantes manipular variables como la temperatura y la presión, y observar de inmediato los resultados los cambios en el nivel nanoscópico, como el aumento de la velocidad y la tasa de colisiones de las partículas.

La visualización del nivel nanoscópico ocurre a través de una ventana que muestra imágenes o animaciones interactivas, ambas vinculadas a las visualizaciones de los niveles macroscópico y simbólico del conocimiento químico. El nivel simbólico puede visualizarse como imágenes estáticas de ecuaciones químicas.

Según los autores, la intención era permitir a los estudiantes relacionar las características superficiales de los sistemas en equilibrio con el efecto de los cambios en las variables hasta

lograrse un nuevo equilibrio. Aunque los estudiantes pueden ver una representación animada del sistema en cuestión, la interacción con el entorno virtual es exclusivamente a través de texto. Este entorno no posee las herramientas para que los estudiantes puedan crear sus propias representaciones.

1996-VisChem

En 1996, la integración de audio y vídeo en el aula se recibió con entusiasmo por los profesores e investigadores en el campo de la educación. La idea de acceder a esa información a través de la Internet ni siquiera fue concebida, debido a que los módems en los ordenadores de esa época eran de muy baja velocidad, de tal manera que a este tipo de contenido se accedía a través de CD-ROM. El CD-ROM multimedia se había lanzado al mercado en ese año, y desde su introducción comenzó a desempeñar un papel cada vez más relevante en la educación, aunque su presencia en el equipo no era usual. Además, había problemas de compatibilidad entre las tarjetas de vídeo y los CD-ROM. No todas las tarjetas de vídeo y sonido permitían el uso de CD-ROM multimedia, y el porcentaje de devolución a los proveedores de CD-ROM educativo a causa de un fallo era relativamente alto (30%) (Kimmel, 1996).

En esa época ya se utilizaban imágenes estáticas del nivel nanoscópico para representar sustancias químicas en formato digital, mientras que las animaciones que representaban los movimientos relativos entre los átomos y las moléculas eran nuevas y consumían la mayor parte del procesamiento de las computadoras disponibles en el momento. Los programas que permitían al usuario la rotación manual de objetos moleculares tridimensionales impresionaban a los investigadores y profesionales de la enseñanza, pero eran limitados y caros. Los archivos de vídeo eran relativamente grandes para su acceso por un módem de 28,8 kbps y para su almacenamiento en discos duros, cuyo tamaño estándar era alrededor de 400 MB, lo que limitaba su distribución a través de Internet e incluso su copia en los ordenadores. El navegador Mosaic se había convertido en el estándar del hipertexto (Brooks y Brooks, 1996).

En este contexto, fue que se desarrolló el entorno virtual VisChem (Tasker *et al.*, 1996), que mostraba en la misma pantalla del ordenador los tres niveles de la representación química, es decir, el macroscópico, el nanoscópico y el simbólico. A este entorno virtual se accedía a través de CD-ROM, y se usaba una ventana del navegador diseñada específicamente para el entorno. El nivel macroscópico podría ser visto por medio de clips de vídeo que mostraban las características de la superficie de materiales o transformaciones químicas. El nivel simbólico estaba representado en este entorno a través de imágenes estáticas, donde los estudiantes podían visualizar ecuaciones y fórmulas químicas.

Las animaciones del nivel nanoscópico en este entorno virtual representaban partículas moleculares o iónicas en medio acuoso o en estado gaseoso. Estas representaciones se desarrollaron para que hubiera una comunicación clara, según los

autores, de modo que ciertas características del nivel molecular pudieran ser modificadas o incluso suprimidas. Las animaciones se generaban en forma de clips de vídeo obtenidos mediante la utilización de programas de simulación por dinámica molecular. En este caso, se reducía la velocidad de las partículas moleculares presentadas en el estado gaseoso, y no se representaban los modos normales de vibración de la molécula, con el objeto de obtener una comunicación más clara (Tasker y Dalton, 2006). A pesar de que el entorno mostraba el movimiento relativo de los grupos moleculares, los estudiantes no tenían la posibilidad de manipular las imágenes, o de crear sus propias representaciones.

1997-CHEMMAT

En 1997 los cursos a distancia se realizaban con la ayuda de cintas de vídeo K-7. Jackson (1998) habla sobre las ventajas de la utilización de imágenes fijas, generadas por ordenador, en las cintas de vídeo. El uso de la Internet se limitaba al acceso a correo electrónico, la publicidad de los cursos en el sitio oficial de la escuela y el acceso a los materiales de los estudiantes. Barron (1998) describe las dificultades para utilizar plug-ins en los navegadores debido al tiempo necesario para descargarlos con módems de 28.8 kbps, y la memoria necesaria para el procesamiento. En esta época, la resolución estándar de las pantallas de las computadoras era de 640 × 480, lo que dificulta la visualización de imágenes de alta resolución. Se utilizaban elementos multimedia que podían ser vistos en hipertextos, pero aún seguían siendo un reto, sobre todo los archivos de vídeo grandes como los ya populares (WAV, AVI y MOV), que requerían mucho tiempo para descargarse de Internet.

Frente a estas posibilidades tecnológicas, Tan y Tan (1997) desarrollaron un entorno de aprendizaje utilizando la herramienta de producción de páginas de hipertexto Asymetrix Multimedia ToolBook®, lo que permitió el acceso a material multimedia a través de navegadores de hipertexto. El entorno virtual se adaptó para hacerlo accesible a través de CD-ROM para los estudiantes de la escuela secundaria. El formato de transporte y almacenamiento de información a través de CD-ROM estaba siendo considerado seriamente por muchas escuelas como un medio eficaz debido a la posibilidad de una mayor explotación de las capacidades gráficas del ordenador para ofrecer al estudiante una mayor riqueza de representación. La parte multimedia del entorno incluía videoclips con sonido y vídeo, gráficos en movimiento e imágenes fotográficas estáticas. Se preferían las animaciones a los clips de vídeo en virtud de su menor tamaño. Los vídeos almacenados en CD-ROM eran relativamente grandes y de baja calidad. La intención de los autores al producir el entorno virtual CHEMMAT era que la enseñanza de la química se podría hacer de una forma más cautivadora cuando se utilizaban imágenes estáticas y animadas en un ambiente multimedia.

Este entorno virtual también permitía la inserción de nuevos módulos de instrucción por parte de los maestros, además de los módulos nativos del entorno, sin la necesidad de que el

maestro supiera algún lenguaje de programación. El contenido de las actividades se adaptó directamente de los libros de texto de la escuela secundaria elegidos por los autores. Desde esa época los autores vislumbraban como una labor a futuro el poner disponible en Internet este entorno virtual para el acceso de los estudiantes y los profesores.

En este entorno virtual el nivel macroscópico se muestra a través de clips de vídeo o animaciones, con los cuales se muestra la sustancia en cuestión o el aspecto macroscópico de los experimentos y de las transformaciones químicas. El nivel nanoscópico se visualizaba con el uso de animaciones o de imágenes, obtenidas a través de programas de edición de imagen. En este entorno virtual no había objetos moleculares tridimensionales para ser manipulados o visualizados por los estudiantes. El nivel simbólico también se lograba con el uso de animaciones e imágenes estáticas. Las representaciones de las tres dimensiones del conocimiento químico podrían ser observadas en forma conjunta o por separado, pero no había ninguna herramienta que permitiera la construcción de las representaciones por parte de los estudiantes.

1998-ChemViz

Durante este período, el navegador Internet Explorer® ya se utilizaba ampliamente, y su competidor Netscape® era también bien conocido. Este año, se puso en marcha en Internet el motor de búsqueda Google® que se convirtió en el motor de búsqueda estándar, superando el de su competidor Yahoo® en unos pocos años.

En este contexto, Beckwith y Nelson (1998) desarrollaron el entorno virtual conocido como ChemViz, que combinaba un conjunto de herramientas para la visualización y edición de objetos moleculares con secuencias didácticas accesibles a través del uso de navegadores de hipertexto. El ChemViz requería de la instalación previa de Java® y fue elaborado con el fin de hacer accesible la química computacional a los estudiantes en la escuela secundaria y la universidad. Todas las herramientas del entorno virtual privilegian las visualizaciones simultáneas de las representaciones simbólicas y nanoscópicas del conocimiento químico.

Una de las herramientas (Waltz) es una interfaz de acceso a través de la Internet a un programa instalado en un servidor que calculaba la densidad electrónica y los orbitales moleculares. A través de esta interfaz, los estudiantes realizaban actividades de aprendizaje de conceptos abstractos tales como electrones, átomos, moléculas y enlaces químicos.

Una segunda herramienta del entorno permitía a los estudiantes conectarse a una base de datos de estructuras cristalográficas, donde podían buscar estructuras tales como la aspirina, la cafeína o el etanol por su nombre o fórmula. En todos los casos, el estudiante obtenía como respuesta un objeto molecular tridimensional si había instalado el plug-in MDL-Chime® en su ordenador.

El entorno ofrecía la posibilidad de acceso a secuencias didácticas por medio de navegadores de hipertexto, y también tenía una herramienta para la construcción de objetos

moleculares tridimensionales. Esta herramienta, sin embargo, requería el conocimiento de estructuras moleculares que iban más allá de los objetivos de la escuela secundaria, tales como, campos de fuerza y optimización de geometría. También existía la posibilidad de instalar todas las herramientas del entorno para su utilización sin acceso a Internet. Esto requería, sin embargo, la instalación de paquetes de software, tales como Gamess®, Molden®, y plug-ins como Cortona® (en el lenguaje VRML, siglas de Virtual Reality Modeling Language o Lenguaje para Modelado de Realidad Virtual) y MDL-Chime®, además de Java®, que requerían de un profundo conocimiento de los usuarios. El entorno no tenía la posibilidad de visualizar el nivel macroscópico del conocimiento químico.

2000-SMV: Chem

En este año el potencial financiero de la Internet se hace evidente con el anuncio de la fusión entre TimeWarner®, un gigante de los medios, y America Online (AOL), un importante portal de contenidos en Internet. El software para compartir música a través de la Internet conocido como Napster® se introdujo el mismo año y comenzó a atraer la atención de las grandes firmas musicales de América del Norte. El navegador Internet Explorer® ya estaba considerado como el estándar de los navegadores de hipertexto, y los reproductores de música de diversos formatos de archivo descargados gratuitamente desde Internet disputaban la atención de los usuarios. Equipos con procesadores con velocidad de 1 GHz, 512 MB de RAM, 20 GB en los discos duros y monitores con resolución SVGA (800 × 600) comenzaron a entrar en el mercado de los ordenadores para uso personal en Brasil.

En el año 2000, las herramientas de visualización de la modelización molecular eran populares sólo entre los estudiantes de postgrado e investigadores en el campo de la Química Teórica. Ealy (1999) realizó un estudio sobre el uso de estas herramientas por estudiantes de posgrado donde observó mejoras en la comprensión de los estudiantes acerca de la naturaleza corpuscular de la materia. El gran avance, según el autor, había sido ofrecer herramientas de visualización para los estudiantes graduados, que utilizaban el software Spartan® en computadores Silicon Graphics® y ambiente UNIX®.

Collis (1999) describe que durante esta época, los entornos virtuales vienen a dar apoyo a los cursos a distancia, al contrario de lo que sucedía anteriormente, donde el acceso a Internet sólo servía para dar información sobre el curso o sobre cuestiones específicas acerca de la inscripción y la matriculación. Los objetivos de este cambio eran aumentar la eficiencia en la transmisión del curso, hecha exclusivamente por correo electrónico hasta entonces, así como la eficiencia de la participación de los estudiantes, ya que el acceso a Internet en los Estados Unidos se encontraba en una etapa bastante avanzada.

En este contexto Kozma y colaboradores (2000) desarrollaron el entorno virtual denominado SMV:Chem a partir del software 4M:Chem (Russel y Kozma, 1994). Este entorno virtual fue diseñado con la intención de mostrar los experi-

mentos que ilustran los conceptos clave dentro de los conocimientos químicos, utilizando animaciones en la escala molecular, gráficos, modelos moleculares y ecuaciones. Al igual que su predecesor, este entorno virtual ofrece al usuario cuatro ventanas que muestran cada uno de los aspectos macroscópicos, nanoscópicos y simbólicos del experimento, de modo que cada una de las cuatro ventanas puede verse en forma independiente o en cualquier combinación.

El nivel macroscópico se muestra en la ventana superior izquierda a través de un video-clip que muestra la realización del experimento. En esta última versión, la demostración experimental está acompañada de una narración del experimento. También hay clips de audio independientes para las otras tres ventanas que pueden ser activados cuando se considera la ventana individualmente. El nivel nanoscópico puede ser visto en la parte superior derecha de la ventana a través de animaciones bidimensionales, que permiten al usuario solamente ver la animación, sin poder interactuar con ella. El nivel simbólico puede ser visto a través de imágenes estáticas de fórmulas y ecuaciones, y también por medio de animaciones de gráficas cartesianas en dos dimensiones que muestran la variación de las propiedades macroscópicas tales como la temperatura, en la ventana inferior izquierda.

Este entorno virtual se utilizaba a partir de la instalación de un CD-ROM y se vendía en tiendas especializadas, tenía una ventana del navegador, desarrollada para el entorno, que permitía el acceso a las actividades educativas. El entorno no ofrecía la opción a los estudiantes para crear sus propias representaciones, o para manipular las estructuras moleculares.

2001-eChem

Este año fue lanzado comercialmente el sistema operativo Windows XP®, que se convertiría en el nuevo estándar de sistemas operativos para computadoras personales de tipo PC en los siguientes siete años, donde las aplicaciones de procesamiento de textos, hojas de cálculo y de imágenes pueden ser fácilmente manipuladas incluso por usuarios principiantes. A pesar de los numerosos parches de seguridad, y la relativa alta disponibilidad de la información en libros y en Internet, la disponibilidad del sistema operativo por un tiempo relativamente mayor entre los usuarios, ayudó a la proliferación de desarrollo de lectores y editores de todo tipo de medios.

En este contexto Wu, Krajcik y Soloway (2001) utilizaron una versión simplificada de las herramientas profesionales llamada eChem, desarrollada en la Universidad de Michigan, para ayudar a los estudiantes de la escuela secundaria en la construcción y visualización de múltiples modelos tridimensionales, así como en su comparación con representaciones macroscópicas. El acceso al entorno se realiza a través de una interfaz gráfica construida específicamente para ello. En lugar de ofrecer modelos prefabricados, el entorno permite la construcción de modelos por los alumnos, lo que permite interactuar más eficazmente con el entorno.

El ambiente está formado por tres interfaces, lo que favorece la visualización y manipulación de las representaciones

del nivel nanoscópico. En el módulo para la construcción, los estudiantes pueden crear moléculas orgánicas a partir de una tabla periódica simplificada, y manipular el objeto molecular resultante por medio de rotaciones y traslaciones. En esta zona del entorno virtual, las moléculas se construyen átomo por átomo y enlace por enlace, el tipo de enlace debe ser especificado como simple, doble o triple. En el módulo de visualización los estudiantes pueden ver diferentes formas de representación de las moléculas, tales como los modelos de 'espacio lleno' o 'de palos y bolas'. En el módulo de análisis, los estudiantes pueden hacer conexiones entre los modelos moleculares y el comportamiento colectivo de las partículas, que se traduce en propiedades físicas y químicas macroscópicas. Ésta era la única opción de visualización de imágenes macroscópicas.

Este entorno virtual no ofrece la opción de visualización de representaciones simbólicas, y tampoco permite la visualización del movimiento relativo de los átomos, de modo que los estudiantes no tienen acceso a las propiedades dinámicas de las moléculas.

2002-ChemSense

Durante este año la recién lanzada Wikipedia, una enciclopedia virtual construida en colaboración, tenía 30,000 entradas, el 90% de ellas en inglés, que llegó a la marca de 1,75 mil millones entradas en 2007 en 250 idiomas diferentes,¹⁶ con menos de la mitad de las entradas en lengua inglesa.

En este contexto, el entorno virtual conocido como ChemSense fue desarrollado para su uso por los estudiantes de secundaria en conjunto con las clases de laboratorio (Schank y Kozma, 2002; Mayer, 2005). El entorno tiene una aplicación Java® diseñado para ejecutarse en los navegadores de hipertexto, lo que permite la creación y el análisis de animaciones y gráficos cartesianos en dos dimensiones. En este entorno, los estudiantes pueden visualizar las representaciones de los niveles nanoscópico y simbólico del conocimiento químico.

La interfaz gráfica con el usuario tenía una pantalla dividida en cuatro ventanas, en la que figuraban las cuatro herramientas básicas: dibujo, animación, gráficos cartesianos y texto. Las cuatro herramientas podían utilizarse de forma simultánea, y una quinta herramienta para acceder a la Internet, llamado *ChemSense Gallery*, permitía la visualización y la adición de comentarios sobre la labor realizada y la gestión de cuentas y grupos. Los niveles simbólico y nanoscópico se manipulaban a través de las ventanas de dibujo y animación, en las que los estudiantes construían sus propias representaciones.

Para crear las animaciones, los estudiantes construían individualmente cada cuadro al utilizar la herramienta de dibujo, que ponía a su disposición figuras geométricas y otras herramientas para la representación de las estructuras. Con esta

herramienta, los estudiantes diseñaban los pasos de una transformación química, de manera que la visualización era secuencial y daba lugar a imágenes en movimiento en forma de una animación que se visualizaba en otra ventana.

En la ventana inferior izquierda, estaba la herramienta para crear y visualizar gráficos cartesianos, con datos recopilados por los propios estudiantes en experimentos llevados a cabo en el laboratorio químico. En el entorno había una herramienta para organizar algunos aspectos del trabajo colaborativo entre los alumnos. En la parte inferior derecha de la ventana, había una zona donde los estudiantes evaluaban el trabajo de su grupo y se publicaban las observaciones y preguntas sobre el experimento, cada estudiante también tenía un espacio para comentarios personales.

Las actividades educativas propuestas para el entorno virtual se llevaban a cabo en correspondencia con las actividades del laboratorio de "química húmeda". Las ideas de los estudiantes se registraban en forma de notas, que eran evaluadas por todos los alumnos y el profesor. Por otra parte, las actividades de aprendizaje se elaboraban en función de que los estudiantes trabajaran colaborativamente, en la investigación, el análisis y la discusión de las cuestiones planteadas. El entorno no permitía la creación, manipulación o visualización de objetos tridimensionales.

2002-ChemDiscovery

El entorno virtual llamado ChemDiscovery (Agapova *et al.*, 2002) consiste de una serie de propuestas sobre diversos temas de química presentados en páginas de hipertexto accesibles por los navegadores, junto con herramientas moleculares para construir representaciones, y debe ser instalado en el equipo utilizado por el estudiante. Las actividades educativas adaptadas al entorno que permitieron que la instrucción estuviera centrada en el estudiante corresponden a una modalidad de enseñanza denominada "investigación orientada".

El nivel macroscópico del conocimiento químico se visualizaba en animaciones bidimensionales y en imágenes estáticas incrustadas en páginas de hipertexto, que mostraban las características macroscópicas de las sustancias y las transformaciones químicas. El nivel nanoscópico era visualizado a través de la manipulación de imágenes en una herramienta de construcción de objetos y orbitales moleculares, donde los propios alumnos construían nuevas representaciones. El nivel simbólico se visualizaba por medio de imágenes estáticas de las estructuras y las transformaciones químicas, también incrustadas en páginas de hipertexto.

Las actividades de este entorno virtual alentaban a los estudiantes a trabajar en grupos pequeños o por parejas, y favorecían el cuestionamiento de los significados de los temas planteados en cada etapa de las actividades. Además de la animación y el texto que las acompañaban, el entorno tenía un área para la navegación para cada actividad. El entorno no ofrecía la posibilidad de capturar las respuestas del alumno, ya que el acceso era por medio de CD-ROM.

¹⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_Wikipedia, consultado en 07/05/2009.

2003-CHEMnet

Durante este año, se firmó primer decreto presidencial en los Estados Unidos para la creación de leyes contra los mensajes electrónicos no solicitados, más conocidos como SPAM, que representaban la mitad de los mensajes que circulaban en la Internet en ese momento.

El entorno virtual llamado CHEMnet (Nick *et al.*, 2003) fue el primero desarrollado para la enseñanza de la química en HTML, y sólo se puede acceder a él a través de navegadores de Internet con el uso de hipertexto. El acceso a este entorno no requiere el uso de CD-ROM, de modo que cualquier herramienta necesaria para la utilización de los recursos del entorno, como los reproductores de los diferentes tipos de medios, se pueden obtener directamente de la Internet. Las actividades de enseñanza del ambiente en formato multimedia pueden ser utilizadas tanto en la escuela secundaria, como en la superior. El entorno contiene más de 2,300 páginas de hipertexto, 140 videos y 60 animaciones y simulaciones. En la construcción del entorno también se utilizó el lenguaje VRML, así como videos y animaciones en varios formatos de archivos que mostraban experimentos de laboratorio. La utilización del entorno es gratuita; sin embargo, requiere el registro del usuario. Los accesos de todos los usuarios quedan registrados en las bitácoras del servidor, de modo que se puede hacer un seguimiento de cada uno de los usuarios con fines estadísticos. La página de entrada del entorno tiene un texto principal, donde se incluyen las actividades educativas y los archivos multimedia, además de las barras de navegación primaria y secundaria que facilitan las actividades en el entorno en su conjunto.

De acuerdo con los resultados presentados por los autores del estudio, la mitad de los usuarios (4,850) que se registraron para utilizar el entorno en el período comprendido entre 2000 y 2003 nunca habían tenido contacto con materiales multimedia para químicos, tales como videos, y simulaciones en tres dimensiones. Los usuarios también utilizaron el entorno como un manual de consulta, lo que se observó —teniendo en cuenta solamente los impresos— por la impresión de 13,000 páginas a través de la herramienta de impresión del entorno.

En este entorno, el nivel macroscópico de representación se visualiza por medio de video clips y animaciones, que no ofrecen ninguna posibilidad de interacción con el usuario. El nivel nanoscópico se observa por medio de imágenes estáticas, animaciones moleculares y objetos tridimensionales en dos formatos: el lenguaje de realidad virtual y VRML y el plug-in MDL-Chime®. La integración de estos objetos moleculares tridimensionales en entornos virtuales permite su visualización y manipulación. El nivel simbólico del conocimiento químico se trata con el uso de imágenes y animaciones bidimensionales, que no ofrecen ninguna posibilidad de interacción con el usuario. Lamentablemente no hay una herramienta en el entorno que permita a los usuarios crear sus propias representaciones.

2003-Connected Chemistry

El entorno virtual Connected Chemistry fue escrito en el Lenguaje de Modelado Multiagente (MAML) y explora el concepto de equilibrio químico (Stieff e Wilensky, 2003). Connected Chemistry ofrece varios modelos pre-construidos con reglas subyacentes, que fueron consultados por estudiantes y profesores, los que podían cambiarlos o incluso desarrollar nuevos modelos pre-construidos. Cada modelo simulaba un sistema químico cerrado, con el que los estudiantes interactúan a través de la modificación de parámetros pre-seleccionados. La parte principal del entorno es la ventana de una interfaz gráfica dividida en una parte de visualización de partículas del tipo “caja de cristal”, y otra con las variables del sistema tales como temperatura, presión o concentración, que se pueden manipular por medio de botones y barras de desplazamiento.

En este entorno virtual, la visualización del nivel nanoscópico se produce a través de una “caja” de partículas generadas bajo demanda y determinada por reglas de la simulación molecular, a diferencia de otros entornos virtuales que muestran películas y animaciones preconstruidas a los estudiantes. El entorno no ofrece la posibilidad de ver o manipular objetos moleculares, sino sólo los grupos de partículas, y no permite ver el mismo sistema desde más de un punto de vista simultáneamente. No es posible utilizar el ratón para la manipulación del grupo de partículas, pero si para las propiedades.

La visualización del nivel macroscópico se da a través de una ventana que muestra un gráfico cartesiano de los cambios en las variables con los cambios impuestos al sistema, tales como los cambios en la concentración de los productos tras el aumento o la disminución de la temperatura. Las visualizaciones de los niveles nanoscópico y macroscópico están vinculadas, de manera que el resultado de los cambios en los parámetros de la simulación se observa en los dos niveles de representación. No hay ninguna opción para ver el nivel simbólico del conocimiento químico. El entorno se debe instalar y ejecutar en el equipo donde va ser utilizado, y no es posible utilizarlo a través de la Internet.

2004-Chemical Change

En 2004, la resolución estándar de los monitores era de 1024 × 768 debido a la mayor disponibilidad y menor costo de las tarjetas de gráficos con mayor capacidad, y el concepto de la convergencia digital se entiende como la convergencia y la integración de los medios de comunicación, como el teléfono móvil y la televisión con la Internet. Los microprocesadores de 64 bits y dos núcleos comenzaron a ser producidos por AMD®, y fue lanzado el sitio de una comunidad virtual conocida como Orkut®. Las impresoras que podrían ser compradas a bajo precio en el mercado brasileño, tales como la Lexmark E232®, estaban equipadas con microprocesadores de 200 MHz y de 16 MB de memoria virtual, que era el estándar para un ordenador de escritorio una década atrás. También fue lanzado el navegador de Internet Firefox®, con código

go fuente abierto y descarga libre, que pronto se convertiría en el segundo navegador de hipertexto más usado.

En este contexto, Ardac y Akaygun (2004) desarrollaron un entorno virtual para visualización química (Chemical Change), que mostraba las representaciones macroscópica, simbólica y nanoscópica de las transformaciones químicas. Este entorno se desarrolló con la ayuda de la herramienta Toolbook 7® que es una herramienta para la creación y edición de aplicaciones de hipertexto. En el entorno virtual ocurría la integración de elementos visuales e interactivos con el hipertexto para desarrollar actividades de enseñanza. El software ofrece los tres tipos de representación simultánea mediante el uso de la animación, los vídeos, las imágenes estáticas y áreas de edición de imagen.

Para visualizar el nivel macroscópico, el entorno virtual usa los vídeos, que en la mayoría de los casos muestran características de representación superficiales. Por lo tanto, no existe la posibilidad de que los estudiantes interactúen con estas representaciones. Para el nivel nanoscópico, el entorno mostraba las representaciones en forma de figuras estáticas y con animaciones obtenidas a partir del entorno virtual VisChem (Tasker *et al.*, 1996). El entorno no tiene herramientas que permitan la creación o visualización de objetos moleculares. En el nivel simbólico, el entorno sólo tiene representaciones en forma de imágenes estáticas, de modo que el estudiante no puede interactuar eficazmente con ellas.

En este entorno virtual, se propusieron actividades de enseñanza para las cuales era necesario que los estudiantes interactuaran con material de apoyo externo al ambiente, por lo que se les pidió que presentaran por escrito sus respuestas y dibujos como trabajo final.

2004-Molecular Workbench

El entorno virtual conocido como Molecular Workbench® fue desarrollado por el Concord Consortium¹⁷ para los estudiantes de secundaria. Para el uso de las herramientas de este entorno se desarrolló en Java® un navegador específico, que debe ser instalado de previamente y puede ser utilizado como un navegador de hipertexto (Pallant y Tinker, 2004).

El desarrollo del entorno se basa en una aplicación de dinámica molecular, que se ejecuta en el equipo cliente. Para ser visualizados y manipulados los modelos se descargan desde un servidor de archivos y se ejecutan en cada máquina cliente. El equipo utilizado por el estudiante crea representaciones tridimensionales de moléculas y otras estructuras macroscópicas y nanoscópicas a partir de reglas de simulación obtenidas a través de Internet, llamadas modelos, que se pueden ver y manipular con el ratón. Con eso, el entorno virtual permite la visualización de los niveles macroscópico, nanoscópico y simbólico, dependiendo del modelo que se descargue.

Para el desarrollo de nuevas secuencias didácticas es nece-

sario aprender el lenguaje de programación del entorno Pedagógica®, desarrollado por el mismo grupo, y también JavaScript®, lo que restringe severamente el desarrollo de nuevas secuencias a los maestros.

Las herramientas en el entorno permiten la manipulación de los objetos moleculares tridimensionales, y la creación de películas a partir de ellos. Sin embargo, los estudiantes sólo tienen acceso a los objetos disponibles en el sistema molecular y las herramientas disponibles en cada modelo, por tanto los estudiantes no pueden crear nuevas estructuras.

Algunos de los entornos virtuales para la enseñanza de la química, que se han descrito hasta el momento, permiten la visualización de imágenes estáticas o animadas de las tres dimensiones del conocimiento químico, pero no es posible la interacción con el usuario, o sólo es posible vía texto, como en los casos de VisChem y 4M:Chem.

Cuando es posible la manipulación molecular de los objetos tridimensionales, el estudiante no puede crear sus propias estructuras moleculares, sólo puede buscar las estructuras en una base de datos en CD-ROM o en Internet, como en el entorno ChemNet. Además, no es posible que los estudiantes realicen sus propias investigaciones sobre la relación entre las representaciones simbólica y nanoscópica, ya que no existe una herramienta donde se puedan comparar.

En entornos virtuales existentes hasta esta fecha tampoco existía la posibilidad de visualizar el movimiento de los átomos, que revela importantes propiedades de la materia en escala nanoscópica, tanto los aspectos cinéticos, como los termodinámicos de las partículas atómicas y moleculares.

En los casos de entornos virtuales en los cuales el estudiante sí puede crear sus propias representaciones de animación, como es el caso de ChemSense, se trata de representaciones en dos dimensiones obtenidas a partir de un programa para editar imágenes. A pesar de la importancia de que los estudiantes realicen este tipo de actividades, cuando no hay un seguimiento adecuado se pueden crear representaciones que no están de acuerdo con los conocimientos químicos aceptados hoy, lo que puede resultar en errores conceptuales. En el caso del entorno Chemviz los estudiantes pueden crear representaciones tridimensionales, pero se necesitan conocimientos específicos de los programas computacionales destinados a la investigación científica.

Basados en esas restricciones, es necesario desarrollar un nuevo entorno virtual para la enseñanza de la Química, donde los estudiantes de la escuela secundaria o superior pueden crear sus propios objetos moleculares tridimensionales por medio de herramientas simplificadas a partir de la representación simbólica, a fin de que estas dos dimensiones del conocimiento químico, simbólica y nanoscópica, puedan estar relacionadas de una manera adecuada en las actividades didácticas.

2005-Constructor de objetos Moleculares

En febrero de este año se lanza el sitio Internet YouTube®, donde los usuarios registrados pueden publicar clips de vídeo en Adobe Flash®. Estos clips de vídeo pueden ser vistos por

¹⁷ <http://www.youtube.com>, consultado en 19/03/2008.

Tabla 1. Esta tabla muestra la forma esquemática de los entornos virtuales para el aprendizaje de la Química que fue encontrada en la revisión de la literatura.

Año Public.	Nombre del Entorno	Visualización*	Visualización simultánea	Navegador común	Interacción en tres dimensiones	Creación de representaciones
1994	4M:CHEM	M, N, S	Sí	No	No	No
1996	VisChem	M, N, S	Sí	No	No	No
1997	CHEMMAT	M, N, S	Sí	Sí	No	No
1998	ChemViz	N, S	Sí	Sí	Sí	EVA ^{nz} .
2000	SMV:Chem	M, N, S	Sí	No	No	No
2001	eChem	M, N	No	No	Sí	Montag.
2002	ChemSense	N, S	Sí	Sí	No	Bidim.
2002	ChemDiscovery	M, N, S	Sí	Sí	Sí	Tridim.
2003	CHEMnet	M, N, S	Sí	Sí	Sí	No
2003	Connected Chemistry	M, N	Sí	No	Sí	No
2004	Chemical Change	M, N, S	Sí	Sí	No	No
2004	Molecular Workbench	N, S	Sí	No	Sí	No
2005	Constructor	N, S	Sí	Sí	Sí	Sí

* "M" se refiere a macroscópica, "N" a nanoscópica, y "S" a simbólica.

cualquier persona mediante un navegador de hipertexto. En febrero de 2008, el sitio tenía 72 millones de vídeos.¹⁸ El entorno virtual conocido como Constructor de Objetos Moleculares (Giordan y Gois, 2005) está diseñado por el "Laboratório de Pesquisa em Ensino de Química e Tecnologias Educativas" (LAPEQ) —Laboratorio de Investigación en Enseñanza de la Química y Tecnología de la Educación— de la Facultad de Educación de la USP para estudiantes principiantes en la química, de escuelas secundarias o superiores.

En este entorno, los estudiantes pueden construir objetos moleculares virtuales tridimensionales a partir de una fórmula estructural condensada (vg., CH₃CH₂CH₃). El entorno ofrece para los estudiantes la visualización simultánea de las representaciones nanoscópica y simbólica de las sustancias químicas, y es accesible mediante navegadores de Internet.

El nivel simbólico de los conocimientos químicos se visualiza a través de las fórmulas estructurales condensadas introducidas por los estudiantes. El nivel nanoscópico se visualiza a través de objetos moleculares en tres dimensiones creados bajo demanda por cada estudiante. Esto se logra a través de un programa escrito en lenguaje C, que genera archivos con las coordenadas en tres dimensiones y la matriz de conectividad que son utilizados por un programa de simulación de dinámica molecular que se ejecuta en el servidor. Este mismo programa devuelve al usuario un fichero que contiene la información de la estructura y de la dinámica de la molécula. Estos objetos moleculares se muestran utilizando el plug-in MDL-Chime®, que debe estar instalado en el ordenador, y ofrecen la posibilidad de visualización de las propiedades dinámicas del movimiento relativo entre los átomos.

Los estudiantes pueden manipular virtualmente los objetos moleculares generados y modificar el tipo de representación, como 'espacio lleno' o 'de palos y bolas'. Hasta la fecha, el entorno no ofrece la opción de ver las propiedades macroscópicas de los productos químicos. La característica principal de este entorno virtual es que los estudiantes pueden crear objetos moleculares de prácticamente cualquier tamaño. En la actualidad, el tamaño de las moléculas se limita a 100 átomos, debido a la capacidad de procesamiento del servidor. Esta herramienta ha sido adaptada en una secuencia de instrucciones en formato de hipertexto y fue utilizada por los estudiantes de secundaria de una escuela pública en el estado de São Paulo (Gois, 2007).

La tabla 1 presenta un resumen de las principales características y los métodos de visualización, las posibilidades de manipulación virtual y la creación de nuevas estructuras químicas. La primera columna muestra el año de publicación del entorno virtual. La segunda señala el nombre del entorno. La tercera columna muestra las opciones de visualización que el entorno ofrece. La cuarta dice si el entorno ofrece la posibilidad de visualización simultánea de las representaciones. La quinta muestra si el entorno es accesible a través de navegadores de hipertexto (sí) o si es necesario instalar un navegador para acceder al sistema (o no). La sexta indica si es posible manipular las representaciones que ofrece el entorno, y la séptima y última columna muestra si se pueden crear representaciones químicas con el uso de las herramientas del entorno.

Discusión

Observamos tres fases de desarrollo de los EVA para la Química. En una primera fase, el EVA tenía como objetivo la presentación de notas de clases, tutorías y ejercicios prácticos y la resolución de problemas en el ordenador a través de me-

¹⁸ <http://workbench.concord.org>, consultado en 07/05/09.

dios, tales como los disquetes y los CD-ROM. Estos entornos no utilizan los recursos de las redes de comunicación o la capacidad de procesamiento gráfico disponible para los usuarios particulares. En una segunda etapa, la preocupación de los desarrolladores se centró en la inclusión de contenido gráfico en las actividades didácticas, tales como fotografías y vídeos, así como en la disponibilidad de contenidos en formato de CD-ROM. En una tercera fase, las comunidades de investigación sobre tecnología educativa están ocupadas en la tarea de desarrollar entornos virtuales destinados a utilizar la Internet. Estos entornos virtuales pueden ser utilizados con programas que se descargan de Internet, en primer lugar en la modalidad de educación a distancia y, posteriormente, en la enseñanza, no sólo de la Química o la Ciencia, sino en el aprendizaje de manera general.

Actualmente se observa una tendencia a utilizar entornos virtuales directamente desde un navegador de hipertexto, sin necesidad de descargar e instalar programas en la computadora, tales como los entornos Molecular Workbench, Chemical Change y Constructor de Objetos Moleculares. La idea es intercambiar datos con el entorno virtual a través de Internet directamente y tener acceso a ellos desde el navegador. Desde que se desarrolló la tecnología para la aplicación de servicios en "el lado del servidor", el equipo cliente es algo así como una terminal gráfica para la visualización, y todos los cálculos pesados se realizan en el servidor. En este modelo, encajan los entornos desarrollados en los lenguajes PHP y ASP, en conjunto con bases de datos como MySQL o PostgreSQL, así como la tecnología Ajax, que combina los lenguajes JavaScript y XML con conceptos de programación para aumentar al máximo las transacciones y la comunicación entre el cliente y el servidor.

También este perfil encaja en la filosofía de desarrollo de ordenadores portátiles para uso educativo de bajo costo y de baja capacidad de almacenamiento y procesamiento, pero con capacidad para comunicarse entre sí a través de la Internet. Como ejemplos podemos citar el proyecto OLPC (One Laptop Per Child), para el que se ha creado un prototipo que hoy se conoce como XO, y proyectos directamente relacionados con las empresas tradicionales de tecnología, como Intel®, Asus®, Microsoft® y otras. En todos estos casos, el equipo cliente se utiliza principalmente como un espectador, sin necesidad de mucho procesamiento, lo que requiere un servidor en cada escuela o centro comunitario para garantizar el procesamiento de ciertos programas y el acceso a la Internet.

Las diferentes formas químicas de representación han sido utilizadas para presentar los conceptos a los estudiantes en la escuela secundaria y en la universidad. El nivel nanoscópico de conocimiento químico estuvo representado por mucho tiempo en la historia de esta área del conocimiento, por palabras y figuras geométricas bidimensionales. La visualización tridimensional del nivel nanoscópico se convirtió en un ejercicio de imaginación de los practicantes de esta disciplina, a través de esfuerzo intelectual a fin de agrupar propiedades aisladas. Actualmente se pueden visualizar y manipular los

objetos moleculares tridimensionales que representan y simulan el conocimiento acerca de la naturaleza de las partículas, lo que se ha incorporado paulatinamente a los EVA de la Química.

Profesores e investigadores de Química han realizado estudios sobre la forma de promover la comprensión conceptual de los estudiantes en la escuela secundaria (Wu *et al.*, 2001) y superior (Kozma y Russell, 1997) mediante el desarrollo de la capacidad de representar las tres dimensiones del conocimiento químico. En estos estudios, se aprecia que los estudiantes parecen dominar las construcciones simbólicas de la Química tratando a las ecuaciones como procesos matemáticos, en lugar de pensarlas como representaciones de procesos dinámicos e interactivos. Otros estudios apuntan al hecho de que los alumnos pueden desarrollar la respuesta correcta a los problemas de la Química aunque sólo tengan una comprensión conceptual limitada (Sawyer, 1990; Smith y Metz, 1996) sin haberse apropiado del simbolismo asociado. Es por esto que se ha defendido que la resolución satisfactoria de problemas sea aquella en la que el estudiante se apropie de los mecanismos del pensamiento químico, que se observa en aquellas situaciones que les permiten correlacionar el fenómeno en su dimensión macroscópica con las representaciones simbólica y nanoscópica. Ésta es una característica que también se observó en siete de los 13 EVA analizados, lo que indica una tendencia a la transferencia de este importante principio extraído de las investigaciones en Educación en Química al desarrollo de los EVA.

Hay una gran dificultad de los estudiantes para comprender el nivel nanoscópico y la representación simbólica, porque son invisibles y abstractos. Por lo tanto, debido a la forma de pensar de los estudiantes se sustenta en la información sensorial, tienen una tendencia a permanecer en el nivel macroscópico en sus explicaciones de los fenómenos y propiedades de las sustancias (Griffiths y Preston, 1992). En este sentido, el entorno Constructor de Objetos Moleculares resulta una contribución importante para la comprensión del significado de las representaciones asociadas en los niveles nanoscópico y simbólico.

La evolución de la computadora ha influido en gran manera su uso en la escuela, de tal manera que la miniaturización puede ser considerada como uno de los factores que permitió la divulgación de esta tecnología para permitir el acceso a los usuarios al procesamiento y almacenamiento masivo de información en la computadora de escritorio. Además, los efectos producidos por las interfaces gráficas han mejorado desde la creación del ambiente operativo de ventanas. Los recursos computacionales permiten a los estudiantes relacionar las representaciones simbólicas con aspectos tridimensionales de la naturaleza de las partículas por medio de representaciones dinámicas.

En la actualidad, la comunicación entre el usuario y la computadora se hace por medio de iconos, y la ejecución de aplicaciones no requiere conocimientos de programación por parte del alumno. Cuando las representaciones están media-

das por los recursos que se ofrecen actualmente por la computación gráfica, la relación entre los signos y los objetos, en algunas dimensiones de la Química, puede ser modificada profundamente. Los recursos de animación y simulación de imágenes que ofrecen los ordenadores pueden aportar una nueva forma de construcción de conocimiento en el aula.

En el nivel macroscópico, los signos están presentes normalmente en el aula o laboratorio de enseñanza de la química por el uso de palabras como una referencia a los fenómenos, o la percepción de ellos a través de los sentidos, tales como la vista, el olor o la variación de la temperatura. Al utilizar el ordenador, el carácter icónico de la representación de los conocimientos en este nivel presenta un beneficio potencial para la enseñanza de la Química. El fenómeno en estudio puede ser representado en una animación sin necesidad de que los estudiantes estén en el laboratorio, lo que se hace necesario en algunos casos por el peligro asociado al fenómeno, como en el caso de los cambios químicos que ocurren, por ejemplo, en la explosión de fuegos artificiales. Cuando solamente se narra un experimento, *vg.* los cambios de fase en el agua, el estudiante puede imaginarlo, ya que conoce, la mayoría de los componentes, tales como los cubos de hielo, el agua en forma líquida y el vapor de agua. En otros casos la experiencia puede no ser tan fácilmente imaginada, como los fenómenos de transmutación nuclear que se producen en reactores atómicos. Cuando se utiliza una animación, la imaginación se auxilia de la representación gráfica. Además, el centro de atención de la visualización se puede dirigir específicamente a las propiedades y sus correspondientes representaciones, por ejemplo, la estabilización de los cambios de temperatura durante los cambios de fase y la forma gráfica de representación equivalente. El uso de los recursos del ordenador para visualizar las representaciones de esta dimensión del conocimiento químico permite la visualización de características importantes en términos de conocimiento de los fenómenos químicos que son difíciles de obtener de forma directa.

En el nivel nanoscópico, los signos se hacen presentes en las representaciones gráficas, además de la utilización de palabras como una referencia a los modelos teóricos de esta dimensión del conocimiento químico (Gois y Giordan, 2007). El carácter icónico de estas representaciones está presente en el aula de química por lo general en forma de imágenes que simbolizan a los átomos y sus diversas formas de agruparse. Incluso cuando se utiliza la computadora como medio de representación, es frecuente el uso de imágenes de partículas en las cuales la naturaleza de la materia se presenta en un formato en el que muchas de las características de este nivel de representación se pasan por alto.

El uso del ordenador puede producir un efecto positivo para la enseñanza de la Química cuando la apariencia de los iconos de las representaciones de la dimensión nanoscópica está de acuerdo con las características del fenómeno bajo estudio. Los recursos de computación gráfica, ampliamente disponibles hoy en día, la utilización combinada de software de código abierto, junto con el conocimiento de las simulaciones

de mecánica y dinámica moleculares, pueden presentar con claridad muchas características y propiedades inherentes a los procesos relativos a las interacciones dinámicas a nivel de partículas atómicas, como por ejemplo el movimiento de las partículas debido a las colisiones intermoleculares. Por lo tanto, el carácter de este tipo de representaciones icónicas puede ser utilizado para construir el conocimiento lo que no sería posible de otra forma, o sería mucho más difícil utilizando sólo las palabras y las imágenes.

El uso de los recursos de la computadora para visualizar la dimensión nanoscópica puede aportar conocimientos a los estudiantes más acordes con la actualidad de los conocimientos científicos. Además de las contribuciones de cada dimensión del conocimiento químico, el equipo permite la posibilidad de integrar las representaciones de los niveles macroscópico, nanoscópico y simbólico, o la combinación de dos dimensiones del conocimiento, con objeto de fomentar el desarrollo de significados a través de representaciones, sobre todo en el nivel simbólico del conocimiento químico.

Conclusión

En esta revisión tratamos de resaltar, además del desarrollo de las funcionalidades de los EVA, la necesidad de emplear con criterio las formas de representación macroscópica, nanoscópica y simbólica del conocimiento químico. Es un hecho que los EVA han encontrado en Internet un lugar de convergencia para su funcionamiento. La universalización del acceso y el aumento de la velocidad de conexión han hecho conveniente la preferencia por el modelo cliente-servidor con el cliente dedicado a las tareas de visualización y entrada de datos, mientras que el procesamiento de las simulaciones se realiza en el servidor. Ésta es una tendencia que debe guiar el desarrollo de los EVA en la próxima década. Si esta tendencia se mantiene, se recomienda que los desarrolladores incorporen características que permitan la publicación de los productos de los estudiantes a fin de que se puedan organizar actividades de colaboración y se facilite el control de estos productos a los maestros.

Un segundo punto de importancia en nuestro análisis es la estrecha relación existente entre el desarrollo de algunos entornos y los resultados de la investigación sobre el desarrollo conceptual y la evaluación del aprendizaje en Química. De nuestra parte, juzgamos necesario fortalecer esta relación trayendo a la discusión, tanto los aspectos cognitivos relacionados con el desarrollo del pensamiento químico del estudiante, como las cuestiones sobre la naturaleza del conocimiento químico, cuestión que ya hemos indicado en las propuestas sobre las formas de representación macroscópica, nanoscópica y simbólica. Particularmente consideramos más beneficiosos los estudios que consideran como determinantes tanto los aspectos cognitivos como los epistemológicos, en la medida en que ambos se rigen por una lectura del desarrollo socio-histórico de las formas de pensar de los estudiantes, dado que las actividades que realizan en entornos virtuales representan una forma de inserción en una cultura particular que es la Quími-

ca. Por la misma razón, apoyamos la orientación del desarrollo de EVA en la dirección de integrarlos a una organización curricular alineada a las demandas cognitivas y sociales impuestas por la sociedad en la era de la información.

Bibliografía

- Agapova, O.; Jones, L.; Ushakov, A.; Ratcliffe, A.; Martin, M.; Encouraging independent chemistry learning through multimedia design experiences, *Chem. Educ. Int.*, **3**(3), 1-8, 2002.
- Ardac, D.; Akaygun, S.; Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change, *J. Res. Sci. Teaching*, **40**(4), 317-337, 2004.
- Barron, A.; Designing web-based training, *Br. J. Educ. Technol.*, **29**(4), 355-370, 1998.
- Beckwith, E.K.; Nelson, C.; The ChemViz project: using a supercomputer to illustrate abstract concepts in chemistry, *Learning and Leading with Technol.*, **25**(6), 17-19, 1998.
- Bowen, C.W.; Item design considerations for computer-based testing of student Learning in chemistry, *J. Chem. Educ.*, **75**, 1172-1175, 1998.
- Brooks, H.B.; Brooks, D.W.; The emerging role of CD-ROMs in teaching chemistry, *J. Sci. Educ. Teaching*, **5**(3), 203-215, 1996.
- Collis, B.; Designing for differences: cultural issues in the design of WWW-based course-support sites, *Br. J. Educ. Technol.*, **30**(3), 201-215, 1999.
- Ealy, J.B.; A student evaluation of molecular modeling in first year college chemistry, *J. Sci. Educ. Technol.*, **8**(4), 309-321, 1999.
- Frenkel, D.; Smith, B.; Understanding Molecular Simulations: from algorithms to applications, Academic Press: San Diego, U.S.A., 1990, pp. 9-15.
- Gabel, D.L.; Bunce, D.M. Research on Problem Solving: Chemistry. In: *Handbook of research on Science Teaching and Learning*, Macmillan: New York, U.S.A., 1994, pp. 301-326.
- Gabel, D.L. The complexity of chemistry and implications for teaching. In: Fraser, B.J., and Tobin, K.G. (eds.), *International Handbook of Science Education*, Kluwer Academic Publishers: London, UK, 1998, pp. 233-248.
- Garnett, P.J.; Garnett, P.J.; Hacking, M.W.; Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning, *Stud. Sci. Educ.*, **25**, 69-95, 1995.
- Giordan, M.; O papel da experimentação no ensino de ciências, *Química Nova na Escola*, **10**, 43-49, 1999.
- Giordan, M.; *Computadores e linguagens nas aulas de ciências*. Ed. da Unijuí. Ijuí-RS. 328 p., 2008.
- Giordan, M.; Gois, J.; Telemática educacional e ensino de química: Considerações sobre um construtor de objetos moleculares, *Linhas Críticas*, **21**(11), 285-302, 2005.
- Gois, J.; *Desenvolvimento de um ambiente virtual para estudo sobre representação estrutural em Química*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 172 p., São Paulo, 2007.
- Gois, J.; Giordan, M.; Semiótica na química: a teoria dos signos de Peirce para compreender a representação, *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, **7**, 34-42, 2007.
- Graziadei, W.D.; McCombs, G.M.; The 21st century classroom-scholarship environment: What will it be like?, *J. Educ. Tech. Syst.*, **24**(2), 97-112, 1995.
- Griffiths, A.K.; Preston, K.R.; Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics at atoms and molecules, *J. Res. Sci. Teaching*, **29**(6), 611-628, 1992.
- Habraken, C.L.; Perceptions of chemistry: Why is the common perception of chemistry, the most visual of sciences, so distorted?, *J. Sci. Ed. Technol.*, **5**(3), 193-201, 1996.
- Jackson, M.D.; A distance-education chemistry course for nonmajors, *J. Sci. Ed. Technol.*, **7**(2), 163-170, 1998.
- Johnstone, A.H.; The Development of chemistry teaching: A changing response to changing demand, *J. Chem. Educ.*, **70**, 701-704, 1993.
- Kimmel, H.; Deek, F.; Instructional technology: a tool or a panacea? Journal of Science Education and Technology, *J. Sci. Educ. Teaching*, **5**(1), 87-92, 1996.
- Kozma, R.B.; Chin, E.; Russel, J.; Marx, N.; The roles of presentations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry instruction, *J. Learning Sci.*, **9**(2), 105-146, 2000.
- Kozma, R.B.; Russel, J.; Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena, *J. Res. Sci. Teaching*, **34**, 949-968, 1997.
- Lopes, A.C.; *Conhecimento escolar: ciência e cotidiano*, Editora da UERJ: Rio de Janeiro, Brasil, 1999, p. 236.
- Lowe, J.N.; Who will our teachers be?, *J. Chem. Educ.*, **45**, 649-650, 1968.
- Mayer, R.; *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge Press: Cambridge, Inglaterra, 2005.
- Mortimer, E.F.; Machado, A.H.; Romanelli, L.I.; A proposta curricular de Química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos, *Química Nova*, **23**(2), 273-283, 2000.
- Nick, S.; Andresen, J.; Lubker, B.; Thumm, L.; CHEMnet – structure, design and evaluation of an online chemistry course, *J. Sci. Educ. Technol.*, **12**(3), 333-341, 2003.
- Pallant, A.; Tinker, R.; Reasoning with atomic-scale molecular dynamic models, *J. Sci. Educ. Technol.*, **13**(1), 51-56, 2004.
- Roberts, K.; Cultivating chemical awareness, *Education in Chemistry*, **32**(1), 58-72, 1995.
- Russel, J.; Kozma, R.; 4M:Chem-multimedia and mental models in chemistry, *J. Chem. Educ.*, **71**, 669-670, 1994.
- Sawyer, B.A.; Concept learning versus problem solving: Revisited, *J. Chem. Educ.*, **67**, 253-254, 1990.
- Schank, P.; Kozma, R.; Learning chemistry through the use of a representation-based knowledge building environment, *J. Comput. Math. Sci. Teaching*, **21**, 253-270, 2002.
- Schummer, J.; Gestalt switch in molecular image perception: the aesthetic origin of molecular nanotechnology in supramolecular chemistry, *Found. Chem.*, **8**, 53-72, 2006.
- Smith, K.; Metz, P.; Evaluating student understanding of solution chemistry through microscopic representations, *J. Chem. Educ.*, **73**, 233-235, 1996.
- Stieff, M.; Wilensky, U.; Connected chemistry – incorporating interactive simulations into the chemistry classrooms, *J. Sci. Educ. Technol.*, **12**(3), 285-302, 2003.
- Tan, S.; Tan, L.; CHEMMAT: adaptive multimedia courseware for chemistry. Journal of Science Education and Technology, *J. Sci. Educ. Technol.*, **6**(1), 71-79, 1997.
- Tasker, R.F.; Chia, W.; Bucat, R.B.; Sleet, R.; The VisChem Project – visualizing chemistry with multimedia, *Chemistry in Australia*, **63**(9), 395-397, 1996.
- Tasker, R.F.; Dalton, R.; Research into practice: visualization of the molecular world using animations, *Chem. Educ. Res. Practice*, **7**(2), 141-159, 2006.
- Valente, J.A.; Educação a distância no ensino superior: soluções e flexibilizações, *Comunicação, Saúde, Educação*, **7**(12), 139-148, 2003.
- Wu, H.; Krajcik, J. S.; Soloway, E.; Promoting understanding of chemical representations: Students' use of visualization tool in the classroom, *J. Res. Sci. Teaching*, **38**(7), 821-842, 2001.