

Panorama de la realidad virtual aplicada a la enseñanza de propiedades moleculares

Miguel Ángel García-Ruiz, César Bustos-Mendoza, María Andrade-Aréchiga, Ricardo Acosta-Díaz*

Abstract (An overview of virtual reality applications for learning molecular properties)

This paper presents a conceptual basis for the educational use of virtual reality and its application to learning the physicochemical properties of molecules. The paper also shows related research, and the experience of the Virtual Reality Laboratory of the University of Colima, Mexico, about learning and teaching molecular structure and its properties using virtual reality technology.

Introducción

En la actualidad, es necesario concebir la escuela, la educación y el aprendizaje de forma diferente. Hay que despertar el interés y el deseo de aprender de los estudiantes. En este sentido, la computadora puede apoyar tres procesos fundamentales en la formación del estudiante y de los profesores: el procesamiento de la información, la interacción y la comunicación (Chacón, 1997):

- *El procesamiento de información:* involucra las capacidades intelectuales tales como: recordar, calcular, leer, escribir y establecer relaciones entre las cosas. En este sentido, la computadora facilita la realización de estas tareas en forma más eficiente.
- *La interacción:* La interacción humana se realiza mediante la comunicación o el intercambio de significados mediante mensajes. La interacción tiene como base el diálogo, la alterabilidad y la riqueza de estímulos. El uso de la realidad virtual (RV) puede enriquecer los estímulos en la interacción. Combinar estos elementos permite al estu-

dante establecer un diálogo con la computadora, ejercer control sobre ella y recibir estímulos de varios sentidos sensoriales.

- *La comunicación:* puede ampliarse con el uso de la computadora como mediadora de la comunicación entre muchas personas con gran interactividad, el correo electrónico y las videoconferencias son un ejemplo de ello.

Las nuevas tecnologías no deben ser consideradas como la panacea que resolverá todos los problemas de enseñanza, pues aunque pueden ser útiles en un contexto determinado pueden no serlo en otro. En apoyo a estas ideas, Valcárcel (1996) menciona que es necesario integrar las nuevas tecnologías en un programa educativo bien fundamentado para hacer uso pedagógico de las mismas, ya que son las metas, objetivos, contenidos y metodología lo que les permite adquirir un sentido educativo.

Apoyando lo anterior, la RV se ha aplicado con cierto éxito en la educación, donde los estudiantes están inmersos en forma dinámica en actividades de aprendizaje, utilizando más de un sentido sensorial. El enfoque de la RV educativa se ha basado en el paradigma constructivista (los estudiantes "aprenden haciendo", en forma activa, construyendo su propio conocimiento a partir de lo ya aprendido). Las aplicaciones son variadas, desde el aprendizaje de la arqueología, pasando por ecología, hasta llegar a la química (Youngblut, 1998).

La RV es definida como un espacio o ambiente tridimensional gráfico, táctil, visual o auditivo (también llamado "mundo virtual") generado por computadora, donde los usuarios pueden manipular su contenido y navegar en ese espacio utilizando aparatos especiales (Sherman y Craig, 2003; Whitelock, 2000). Ésta presenta una característica principal: produce el efecto de inmersión; esto es, cuando el usuario siente que está "adentro" del ambiente virtual.

Dependiendo de la inmersión, los equipos de RV se clasifican en semi-inmersivos y de inmersión com-

*Universidad de Colima, Laboratorio de Realidad Virtual (CEU-PROMED) y Facultad de Telemática. Avenida Universidad 333, 28040 Colima, México.

mgarcia@uocol.mx, cbustos@uocol.mx, mandrad@uocol.mx, acosta@uocol.mx

Recibido: 22 de noviembre de 2004; aceptado: 24 de marzo de 2005.



Figura 1. Casco de RV (HMD). Imagen cortesía del Laboratorio de Realidad Virtual, Universidad de Colima.

pleta. La realidad virtual semi-inmersiva (llamada también como RV “de escritorio”) utiliza una computadora personal para desplegar un ambiente virtual, conteniendo una simulación o modelos en 3D. Generalmente, los usuarios observan el ambiente virtual por medio de lentes (gafas) estéreo, y el efecto de inmersión es moderado. La realidad virtual de inmersión completa utiliza un casco de realidad virtual (figura 1), donde el ambiente virtual se proyecta en el interior de éste, y los objetos virtuales se manipulan con guantes de datos y otros dispositivos especiales, dando una sensación de inmersión muy completa.

Una aplicación importante de la RV es en la enseñanza de las estructuras y otras propiedades de las moléculas. A los estudiantes de química generalmente se les dificulta aprender y entender conceptos científicos de la biología, bioquímica y materias afines, debido a lo abstracto de los mismos. La dificultad en el aprendizaje se debe principalmente a que

suceden los procesos a una escala muy diferente y pequeña, con una estructura tridimensional intrincada, por lo que su comprensión resulta difícil, como los enlaces moleculares. Las herramientas didácticas tradicionales (por ej. los modelos moleculares de plástico) presentan muchas limitaciones para explicar, analizar y entender los conceptos estructurales y abstractos de moléculas. La RV pudiera resolver esos problemas, siguiendo diseños y aplicaciones adecuados (Youngblut, 1998).

Desde mediados de los noventa, los estudiantes de química pueden obtener de internet y analizar con notable efectividad infinidad de modelos moleculares en 3D, almacenados en formatos tales como VRML (Virtual Reality Modeling Language), un lenguaje de programación estándar para RV (Casher *et al.*, 1998), y en formato PDB (Protein Databank) (Berman *et al.*, 2000), entre otros. Las estructuras moleculares que representan los archivos en PDB pueden ser vistas con programas especiales, como el Rasmol o Chime. La tabla 1 muestra algunos sitios web donde se pueden descargar archivos PDB, VRML y programas para su visualización.

Ventajas y retos de la realidad virtual en la educación

Un ambiente virtual educativo tiene ventajas que difícilmente se podrían encontrar en otras tecnologías. A continuación se explican algunas:

- *Información multisensorial.* El usuario de un ambiente virtual puede percibir información a través de sus sentidos de la vista, oído, tacto, y quizá del olfato, pudiendo suceder todo al mismo tiempo. Esto permitiría que la información se presentaría de manera individualizada, de acuerdo con el estilo de aprendizaje del estudiante.

Tabla 1. Sitios web con moléculas virtuales y programas para su visualización.

URL	Descripción
http://www.karmanaut.com/cosmo/player/	Plug-in para visualizar archivos VRML.
http://www.nyu.edu/pages/mathmol/library/	Portal donde se enlistan páginas web con modelos moleculares en VRML y otros formatos.
http://www.rcsb.org/pdb/ http://www.umass.edu/microbio/rasmol/whereget.htm http://www.umass.edu/microbio/chime/getchesp.htm	Sitios web que contienen modelos moleculares almacenados en formato PDB. Para ver la estructura molecular de este formato, se necesita instalar en la computadora programas tales como Rasmol, o un plug-in para navegadores de internet llamado Chime.
http://www.molecularmodels.ca/	Página que enlista modelos moleculares, con fines educativos.

- *Reificación.* Algunos conceptos se pueden hacer más explícitos y concretos con RV.
- *Manipulación de escalas.* Un ambiente virtual puede contener diversos modelos moleculares con tamaños diferentes y con escalas modificables. Además, la escala permitiría observar la simulación de un fenómeno científico.
- *Experiencia en primera persona.* Los estudiantes pueden presenciar en forma directa el análisis del modelado o simulación del fenómeno científico, e interactuar con el mismo en forma más natural y en tercera dimensión.

Sin embargo, la RV puede tener algunos efectos secundarios, que aparecen sólo si los ambientes virtuales inmersivos están mal diseñados o aplicados:

- *Mareos y confusión visual:* El despliegue amplio de ambientes virtuales (en una pantalla de proyección que abarque todo o buena parte del campo visual del estudiante) puede causar confusión visual y mareos si la navegación dentro del ambiente se realiza de manera rápida, y en el cambio brusco del punto de vista del espectador. Además, el mareo aparece sobre todo en los cascos de RV que no están bien sincronizados con el sensor de movimiento de la cabeza.
- *Fatiga visual:* Algunos sistemas de despliegue de RV pueden producir fatiga visual (vista cansada) al inicio en algunos usuarios, pero una vez que ellos se acostumbran a usarlo, el efecto se minimiza o desaparece.

Hardware y software de realidad virtual con aplicaciones en el análisis de moléculas

El considerable aumento de la velocidad de los microprocesadores, la capacidad de memoria, la conectividad, y el poder gráfico de las computadoras actuales, comparado con el de hace unos años, ha permitido el desarrollo y la aplicación de tecnología de RV en campos como el de la bioquímica.

Actualmente, varias empresas de productos de RV en todo el mundo han desarrollado sistemas de visualización de alta resolución y con efecto estereoscópico. Este efecto consiste en generar por computadora dos imágenes o gráficas superpuestas del mismo objeto, una para cada ojo, pero ligeramente desfasadas. La visualización en estéreo se realiza por medio de dos técnicas comunes: los anaglifos (lentes con filtros rojo-azul), o lentes inalámbricos de LCD (Liquid Crystal Display, por sus siglas en inglés). Al



Figura 2. Estudiante de química utilizando un ambiente virtual de escritorio para el análisis de estructuras moleculares. Imagen del primer autor, Facultad de Informática, Universidad de Sussex, Reino Unido.

visualizar las imágenes con estos lentes, el cerebro reconstruye la imagen o gráfica como una sola, con una mejor percepción del volumen y perspectiva del modelo observado.

La tecnología de lentes LCD es más efectiva que la técnica de filtrado rojo-azul. Algo importante de esta tecnología es que mejora notablemente la inmersión dentro del ambiente virtual, permitiendo así una visualización más “natural”, ofreciendo una mejor apreciación de la conformación molecular, perspectivas y escalas, entre otras características. Cabe hacer la aclaración que la inmersión se puede lograr aun sin realizar la visualización en estéreo, solamente que ésta será de menor grado. Además, la visualización del ambiente virtual puede hacerse con un casco de RV (*Head-Mounted Display*, o HMD por sus siglas en inglés). Dentro del casco existen dos pequeños monitores LCD donde se despliega el ambiente virtual, puede contener audífonos y un sensor para registrar el movimiento de la cabeza del usuario. Con éste, el usuario puede observar el ambiente virtual en cualquier dirección. Esta técnica de visualización con el casco permite una alta inmersión y aislamiento del mundo exterior, siendo muy efectiva para visualizar modelos moleculares (figura 1).

La visualización de un ambiente virtual en estéreo puede hacerse en una computadora de escritorio. Este tipo de visualización ha sido ampliamente utilizada en las áreas de cristalografía y bioquímica, tal como se muestra en la figura 2, donde la persona observa un modelo molecular en estéreo, y rota el modelo utilizando un ratón para 3D.

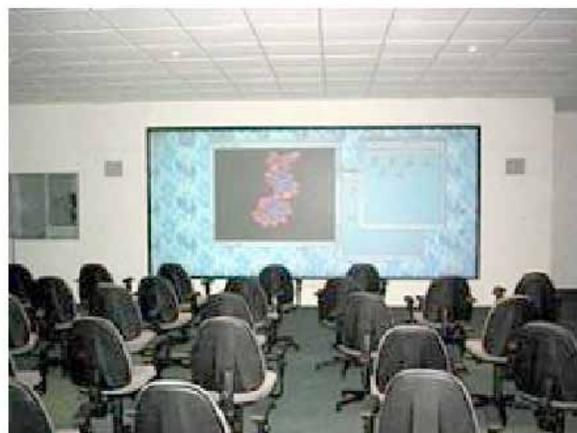


Figura 3. Despliegue de pared. Imagen Cortesía del Laboratorio de Realidad Virtual, U. de C., México.

Los modelos moleculares virtuales también pueden ser observados en un sistema de proyección del tipo auditorio. Los hay cóncavos y planos, estos últimos llamados de pared. La proyección del ambiente virtual puede hacerse por atrás de la pantalla (retro proyección), o por adelante, siendo la primera más efectiva, ya que los observadores pueden estar parados (o sentados) muy cerca de la pantalla sin obstruir la proyección. En la figura 3 se observa un sistema de retro proyección de pared. Este tipo de proyección es más efectiva que el sistema de RV de escritorio para realizar el efecto de inmersión, y un mismo ambiente virtual puede ser analizado por muchos estudiantes a la vez.

Además de utilizar el sentido de la vista, es posible percibir información de las estructuras mo-

leculares utilizando el sentido del tacto. El Laboratorio de Realidad Virtual cuenta con un dispositivo háptico (relacionado con el sentido del tacto) Phantom, donde los estudiantes “sienten” la estructura molecular con la mano y visualizan la estructura en la pantalla (figura 4). El estudiante sostiene con la mano una especie de bolígrafo con el que puede percibir la estructura molecular virtual al pasar el apuntador del bolígrafo sobre ésta. La sensación táctil de la molécula permitirá su aplicación para estudiantes con discapacidad visual.

Algunas aplicaciones de realidad virtual en la enseñanza de información molecular

La RV ha sido estudiada con éxito como apoyo para la comprensión de información molecular. Byrne (1996) realizó uno de los primeros estudios sobre la aplicación de la RV para la enseñanza de la química. Ella diseñó y llevó a cabo un experimento, donde 40 alumnos de bachillerato pudieron formar átomos y moléculas virtuales en un ambiente virtual. Los estudiantes visualizaron el ambiente virtual utilizando un casco de RV (HMD), y manipularon átomos y partículas subatómicas virtuales utilizando una palanca de juegos para 3D (*joystick*), teniendo así un sistema de RV altamente inmersivo. Pruebas realizadas antes y después del experimento indicaron que la construcción de átomos y moléculas virtuales ayudó a los estudiantes a entender la estructura molecular y atómica en general.

Sciencespace (Salzman *et al.*, 1996) es un proyecto de investigación que evalúa ambientes virtuales educativos altamente inmersivos. Este proyecto estudia aspectos tales como aplicación del constructi-

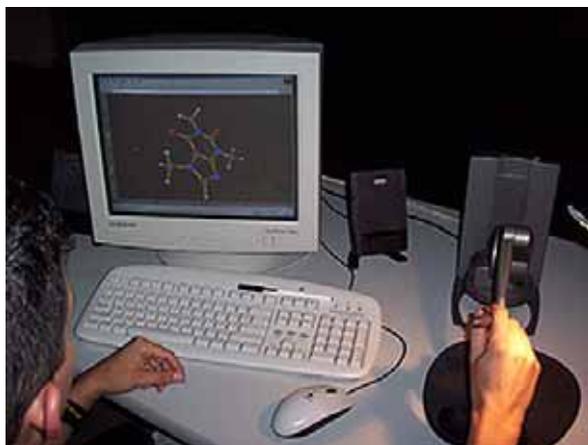


Figura 4. Estudiante utilizando el dispositivo háptico Phantom. Imagen cortesía del Laboratorio de Realidad Virtual, U. de C.

vismo, remediación de conceptos erróneos, motivación, atención, inmersión, multisensorialidad y múltiples planos de referencia. El proyecto está dividido en tres módulos, uno de ellos llamado PaulingWorld (Su y Loftin, 2001) y se dedica a estudiar la aplicación de la RV inmersiva para apoyar la comprensión de estructuras moleculares. En éste, los estudiantes pueden visualizar modelos moleculares de aminoácidos a través de un casco de RV. Los investigadores de este proyecto han encontrado que los estudiantes que han utilizado el sistema de RV se han sentido motivados al analizar los modelos moleculares y que el sistema es fácil de usar. El proyecto todavía no tiene resultados conclusivos en cuanto al aprendizaje ganado (o perdido) de los alumnos participantes.

Lu *et al.* (2004) desarrolló y aplicó un ambiente virtual donde estudiantes de secundaria de Singapur aprenden biología molecular de diversas moléculas, por medio de actividades lúdicas. Los alumnos aprenden jugando, tal como lo hicieron con una máquina de video juegos, utilizando un volante y una palanca de juegos para navegar entre la estructura molecular virtual. Lu y otros reportaron muy buena aceptación y motivación por parte de los alumnos cuando utilizan el ambiente virtual.

Gervasi *et al.* (2004) desarrollaron un ambiente virtual donde se simula equipo e instrumentación de un laboratorio de química, donde estudiantes de química pueden operarlo, observando reacciones químicas virtuales a nivel macro y micro (despliegue de estructuras moleculares virtuales y sus interacciones).

El Instituto Politécnico de Guarda, Portugal (Trinidade *et al.*, 1999), ha creado el proyecto “agua virtual”, el cual tiene como objetivo desarrollar y aplicar ambientes virtuales con moléculas virtuales de agua, como una herramienta educativa, donde se muestra la geometría molecular del agua, orbitales, densidad de electrones y otras clases de simulaciones de dinámica molecular

Sankaranarayanan *et al.* (2003) han estudiado la manera en que estudiantes de bachillerato puedan percibir con el tacto la estructura molecular de ciertas moléculas, además de observarlas en un monitor de computadora. Los investigadores utilizaron un dispositivo háptico (todo lo relacionado con el sentido del tacto) que permite “sentir” con los dedos de la mano los contornos de moléculas en formato CPK y en estructura secundaria. De esta manera, se logra una comprensión y manipulación de moléculas virtuales más natural e intuitiva.

Experiencia de la Universidad de Colima en la enseñanza de estructuras moleculares con realidad virtual

El Laboratorio de Realidad Virtual (García Ruiz, 2003) es una rama del Centro Universitario de Producción de Medios Didácticos (CEUPROMED). Éste cuenta con simuladores médicos, computadoras con alta capacidad de despliegue gráfico y un área de visualización tipo auditorio donde hasta 25 estudiantes pueden observar proyecciones de ambientes virtuales en una pantalla de 5×2 metros. El sistema de proyección permite ver los ambientes virtuales en visión-estéreo, por lo que el laboratorio cuenta con 25 pares de lentes LCD. Los ambientes virtuales son desplegados por una supercomputadora Onyx 3200. La figura 3 muestra una vista parcial del interior del laboratorio.

Un profesor de la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima conduce un proyecto de investigación que tiene como objetivo analizar y aplicar la tecnología de RV en el proceso enseñanza-aprendizaje de propiedades fisicoquímicas de moléculas en la bioquímica. Bajo el marco de este proyecto, se han desarrollado diversas actividades, entre las cuales destacan la capacitación con un curso-taller a profesores de química para aplicar la tecnología de RV en sus clases, y estudios experimentales que analicen la aplicación tecnológica y de medición del aprendizaje utilizando la RV.

Curso-taller de aplicación de realidad virtual en la enseñanza de información molecular

La propuesta del curso-taller abrió el espacio a que estas nuevas tecnologías de educación puedan llegar a los docentes encargados de la enseñanza de la bioquímica universitaria. EL curso se llevó a cabo en 15 horas. Hubo una aceptable participación de docentes de química, por lo que también fue un acercamiento entre diferentes especialistas que comparten la actividad de enseñanza de la bioquímica, que compartieron ideas. Al inicio del taller se realizó una presentación detallada de los dispositivos de hardware y el software disponible en el Laboratorio de RV, lo que permitió un marco de referencia adecuado. Posteriormente, se plantearon teorías pedagógicas y cognoscitivas relacionadas con la RV, donde los participantes realizaron dinámicas y obtuvieron conclusiones, confirmando la utilidad de la RV en la enseñanza de la bioquímica. Además, se trabajó con los modelos químicos en formatos estándar (PDB y VRML), y los participantes adquirieron las habilidades para poder manejar programas visualizadores.



Figura 5. Sistema de RV completamente inmersivo. Imagen cortesía del Laboratorio de Realidad Virtual, U. de C.

Clases acerca de estructuras moleculares realizadas en el Laboratorio de Realidad Virtual

Las clases en el Laboratorio se planean en conjunto con los académicos interesados, en donde se establecen los objetivos a seguir, así como el material que se va a presentar, los estudios previos que deberán cubrir los estudiantes y su evaluación. Además, se realiza un guión donde se establecen tiempos y actividades detalladas que permita sincronizar las actividades del grupo con la interacción con el profesor y los administradores del Laboratorio; en estas reuniones también se precisan datos específicos de la clase, como la cantidad de participantes, nivel de estudios, alcances del tema y demás características grupales, que permitan caracterizar al grupo y plantearles un escenario lo más adecuado a sus necesidades de aprendizaje.

Uno de los hallazgos más interesantes, ha sido la posibilidad de que el maestro actúe como “facilitador” de los temas y permita una mayor interacción de los estudiantes con el mundo virtual generado. Además, la combinación con multimedia ha demostrado ser una interesante opción en la dinámica de este tipo de clases.

Estudio piloto multisensorial con el casco (HMD) y los guantes de realidad virtual.

Se está llevando a cabo la planeación, diseño e

implementación de un ambiente virtual totalmente inmersivo, donde los estudiantes pueden manipular una estructura molecular virtual con las manos, utilizando guantes de datos y visualizar la estructura a través de un casco de RV (figura 5). EL estudio piloto donde se va a utilizar este equipo comparará el uso de un ambiente virtual semiinmersivo y un ambiente virtual completamente inmersivo. Estudiantes de primer ingreso de la Facultad de Medicina participarán en el estudio. Los alumnos manipularán y observarán la estructura molecular del DNA y tratarán de identificar sus bases y puentes de hidrógeno.

Conclusiones

Los avances tecnológicos de los últimos años han permitido una mejor y mayor aplicación de la RV en la educación, particularmente como una herramienta de apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la bioquímica. Como se ha visto, aun los ambientes virtuales con poca inmersión (utilizando computadoras de escritorio) pueden ser útiles en el estudio de la bioquímica. Estudios informales de clases con RV muestran que la proyección amplia en estéreo de ambientes virtuales, sobresale como un agente motivador y facilitador de la comprensión de conceptos abstractos, tales como las estructuras moleculares y sus enlaces. El éxito de la aplicación de la RV en la enseñanza de la bioquímica depende de una buena

planeación de los ambientes virtuales y una adecuada conducción pedagógica de los mismos.

Agradecimientos

Se agradece la participación de la M. en C. Ana Peraza, profesora-investigadora de la Facultad de Ciencias Químicas, y la doctora Lourdes Galeana de la O, directora del CEUPROMED, por su asesoría. Este trabajo está siendo financiado por el Programa para el Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) de la Secretaría de Educación Pública de México, con registro no. UCOL-EXB-18. ▣

Referencias

- Berman, H.M., Westbrook, J., Feng, Z., Gilliland, G., Bhat, T.N., Weissig, H., Shindyalov, I.N., Bourne, P.E., The Protein Data Bank, *Nucleic Acids Research*, 28, 235-242, 2000.
- Byrne, C. M., Water on Tap: The Use of Virtual Reality as an Educational Tool, *Tesis no publicada de doctorado*, Universidad de Washington, Colegio de Ingeniería, 1996.
- Casher, O., Leach, C., Page, C.S., y Rzepa, H.S., Virtual Reality Modeling Language (VRML) in Chemistry, *Chemistry in Britain*, 34[26], 1998.
- Chacón, F., *El nuevo paradigma para la educación a distancia corporativa*, CIED, 1997.
- García Ruiz, M.A., Laboratorio de la U. de C., *Memorias del VII Simposium Internacional de Telemática*, Facultad de Telemática, U. de C., México, 2003.
- Gervasi, O., Riganelli, A., Pacifici, L., Laganà, A., VMSLab-G: a virtual laboratory prototype for molecular science on the Grid. *Future Generation Computer Systems*, 20, 717-726, 2004.
- Gervasi, O., Riganelli, A., Pacifici, L., Laganà, A., Virtual Reality Applied to Molecular Sciences, en *Memorias del ICCSA 2004*, A. Laganà *et al.* (eds.), LNCS 3044, 827-836, 2004.
- Lu, B.F., Lim, K.T., Zheng, J.M., Cai, Y.Y., Learning Molecular Biology by VR Playing. *Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry*, 2004.
- Salzman, M., Dede, C., y Loftin, B., ScienceSpace: Virtual Realities for Learning Complex and Abstract Scientific Concepts, *Memorias del IEEE Virtual Reality Annual International Symposium*, pp. 246-253. IEEE Press, 1996.
- Sankaranarayanan, G., Weghorst, S., Sanner, M., Gillet, A., y Olson, A. Role of Haptics in Teaching Structural Molecular Biology. *Memorias del 11th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (HAPTIC-S'03)*, IEEE Computer Society, 2003.
- Sherman, W.R., y Craig. A. B., *Understanding Virtual Reality*. Morgan-Kaufman, San Francisco, CA, 2003.
- Su, S., & Loftin, R. B., A Shared V g Molecules, *Communications of ACM*, 44[12], 57-58, 2001.
- Trindade, J. F., Fiolhais, C., y Gil, V. Virtual Water: An Application of Virtual Environments as an Educational Tool in Physics and Chemistry. *7th International Conference on Computers in Education-New Human Abilities for the Networked Society*. Chiba, Japón, 1999.
- Valcárcel García, A., Las nuevas tecnologías en la formación del profesorado, en: Tejedor y Varcárcel (eds.): *Perspectivas de las nuevas tecnologías en la educación*, pp. 185-199. Madrid: Ed. Narcea, 1996.
- Whitelock, D., Education and Information Technologies, *Official Journal of the IFIP Technical Committee on Education*, 5[4], 2000.
- Youngblut, C., Educational Uses of Virtual Reality Technology, Institute for Defense Analyses, *Reporte no. D2128*, Alexandria, VA, 1998.