

POTENCIALIDADES DE LA REALIDAD VIRTUAL CON VRML / X3D EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

POTENTIAL OF VIRTUAL REALITY WITH VRML / X3D IN CONSTRUCTION PROJECTS

Recibido: 18/12/06

Aceptado: 05/02/07



Alfredo del Caño Gochi
Dr. Ingeniero Industrial
Catedrático de Universidad,
E.P.S. Universidad de La Coruña



M. Pilar de la Cruz López
Dra. Ingeniero Industrial
Profesora titular de Universidad,
E.P.S. Universidad de La Coruña



Luis Solano Díaz del Río
Ingeniero Industrial
Navantia

RESUMEN

Se resumen las ventajas e inconvenientes así como el potencial uso de la realidad virtual, en general, y del VRML, en particular, en proyectos de Construcción. Se incluye un breve resumen del entorno de diseño asistido por ordenador en el que se encuentran incluidos la realidad virtual y el VRML; un análisis de las características, evolución histórica, técnicas y herramientas de la realidad virtual; un análisis de las características, ventajas, inconvenientes y campos de aplicación; un ejemplo de aplicación que sirve de base para resumir las principales dificultades que aparecen en el uso del VRML; y el análisis de las características y potencialidades adicionales del X3D, futuro sucesor del VRML. A pesar de tratarse todavía de una tecnología joven, con sus correspondientes desventajas aquí resumidas, supone indudables potencialidades para la industria de la construcción, probablemente a medio plazo, reflejadas también en este artículo.

Palabras clave: Diseño asistido por ordenador (DAO), realidad virtual, visualización, simulación, Arquitectura, Ingeniería, Construcción.

ABSTRACT

This paper summarizes the pros and cons, and also the potential use, in general, of virtual reality and, particularly, of VRML in construction projects. The paper includes a short

summary of the computer assisted design environment where virtual reality and VRML are included; an analysis of the characteristics, historic evolution, techniques and tools of virtual reality; an analysis of the main characteristics, pros, cons and application fields of VRML; an example of using VRML, and a summary of the main specific difficulties experimented in building the example model; and an analysis of the main characteristics of X3D, the successor of VRML. Despite being a young technology, with its corresponding disadvantages here summarized, VRML / X3D entail an unquestionable potential for the construction industry, probably at the medium-term, also explained in this paper.

Key words: Computer aided design (CAD), virtual reality, visualization, simulation, architecture, engineering, construction.

1- INTRODUCCIÓN

Con motivo del 150 aniversario de la Ingeniería Industrial, el Departamento de Ingeniería Industrial II de la **Universidad de La Coruña** desarrolló un proyecto preliminar para analizar la evolución y futuro de las construcciones industriales, fundamentalmente en el entorno de los países occidentales. Dicho trabajo, que constituía la primera fase de un proyecto de mayor alcance, se desarrolló desde finales de 2000 hasta julio de 2001 y sus principales conclusiones fueron pu-

blicadas en 2001 [1]. La parte de diseño asistido por ordenador se trataba de manera muy general y, si bien tiempo atrás dos de los autores habían ya tratado el diseño asistido por ordenador y su futuro a largo plazo, la Construcción integrada por ordenador en esta misma revista [2], en esos momentos todavía no existía el lenguaje sobre el que aquí se va a tratar. Este escrito amplía uno de los aspectos relacionados con el diseño e Ingeniería asistidos por ordenador (CAD/CAE): el que tiene que ver con la realidad virtual y, en particular, con el VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) y con el X3D, sucesor a futuro del VRML.

2- DEL TABLERO A LA REALIDAD VIRTUAL

La evolución histórica del uso de herramientas de dibujo en Construcción, si nos remontamos a la revolución industrial, comienza con el dibujo a mano en papel sobre tablero. Pasa, más tarde, por el uso de maquetas detalladas a escala como complemento al dibujo a mano, sobre todo en la construcción industrial, para analizar de antemano las interferencias entre sistemas constructivos.

A partir de la aparición del ordenador, éste se usa primero para el cálculo y dimensionamiento estructural y de instalaciones, ya que la potencia necesaria para el dibujo era mayor que la necesaria para el cálculo. Del cálculo y dimensionamiento

asistido por ordenador se pasa al dibujo asistido por ordenador y, poco a poco, al diseño asistido por ordenador [2] [3] [4], que es un concepto muy amplio y complejo y en el que todavía queda bastante que avanzar.

Actualmente el *software* estándar de propósito genérico, como *AutoCad* o *Microstation* (entre otros), incluye herramientas para realizar visualización dinámica en 3D, aunque con menos potencia y prestaciones que otro *software* de propósito específico para este fin, como es el caso de *3D Studio*, de **AutoDesk**. Ambos tipos de herramientas suponen la generación de visualizaciones que no son "flexibles" (como veremos, no incluyen el concepto de realidad virtual), en el sentido de que es el técnico el que define cuál va a ser la visualización, y el cliente o usuario no puede alterarla ya que tiene que ver exclusivamente lo que el técnico ha querido visualizar en cada momento.

Lo último en llegar ha sido la realidad virtual; en particular, el lenguaje de programación VRML, con sus herramientas de visualización (hasta ahora gratuitas), como la de *Parallel Graphics* [5], llamada *Cortona Graphics*, o la de **Silicon Graphics** [6], llamada *Cosmo Placer*, o *Blaxxun Contact*, de **Blaxxun** [7], permite la generación de visualizaciones dinámicas "flexibles" generando archivos de muy pequeño tamaño que, además, permiten la visualización a través de la Red (Internet e intranets); con este tipo de *software* es el cliente o usuario el que, usando el ratón, decide por qué partes del edificio o planta va a pasar y con qué características (velocidad y altura de visualización) va a realizar la visualización (visualización "flexible"; realidad virtual). Su uso puede servir, entre otras cosas, para presentar y reforzar el diseño arquitectónico conceptual, en un principio, para reflejar el diseño cuando éste se encuentra ya en fase de proyecto básico o de detalle, para simular procesos de ejecución (como se verá más tarde), o para realizar informes de avance de obra en los que se aprecien, con diferentes colores, las partes ejecutadas y las pendientes de ejecutar. O, incluso, que refleje el

avance cronológico que ha tenido una obra. Y todo ello a distancia, a través de la Red.

3- REALIDAD VIRTUAL

3-1 Introducción y conceptos básicos
Idealmente, realidad virtual (RV) es [8] [9] la manipulación de los sentidos humanos (actualmente: tacto, vista y oído) por medio de entornos tridimensionales sintetizados por ordenador en el que uno o varios participantes, acoplados de manera adecuada al sistema de computación, interactúan de manera rápida e intuitiva tal que el ordenador desaparece de la mente del usuario, percibiendo como real el entorno generado por el ordenador. Los entornos o escenarios de la realidad virtual pueden ser predefinidos o enfocados de manera que el usuario desarrolle una destreza específica u obtenga una percepción clara como si estuviera realmente en ellos.

Un sistema de realidad virtual debe tener tres características básicas: interacción sistema-usuario, inmersión (para atraer la concentración del usuario) y tridimensionalidad.

3-2 Evolución histórica de la realidad virtual: desde el origen al X3D

El concepto de realidad virtual [8] aparece en 1965 cuando **Ivan Sutherland** publica el artículo titulado *The ultimate display* en el que describe el concepto básico de la misma. En 1972, **General Electric** desarrolla para la Armada estadounidense el primer simulador computarizado de vuelo. Este tipo de programas serán uno de los pilares del desarrollo de la realidad virtual. En 1986, diversos Centros de investigación como los de **Schlumberger**, **Sun Microsystems**, la **NASA**, la **Universidad de Tokio**, **Boeing**, **IBM** o **Fujitsu** trabajan en el desarrollo de herramientas de realidad virtual. En 1989 **VPL** y **Autodesk** ya disponen de sistemas de realidad virtual a precios muy elevados. En ese año aparece el término *realidad virtual*, en el seno de **VPL**. También en ese año, **Silicon Graphics** comienza un proyecto para diseñar y construir un sistema para generar aplica-

ciones interactivas con gráficos tridimensionales, que dará lugar a aplicaciones que, a su vez, servirán más tarde para generar el VRML. En 1992 aparece *Iris Inventor Toolkit*, producto de los esfuerzos de dicho proyecto. También en 1992, **Sun Microsystems** hace la primera demostración de su *Portal Visual*, el entorno de RV de mayor resolución hasta esa fecha. En 1994 aparece el *Silicon Graphics Open Inventor*, segunda versión del *Iris Inventor Toolkit*; el sistema de objetos y el formato de archivo de este *software* servirán más tarde para escribir la primera propuesta de especificación de VRML 1.0. Es en 1994 también cuando se crea la lista de discusión *www-vrml* en la que se da la oportunidad, a todo el que lo desee, de hacer propuestas de especificación formal del VRML. De las propuestas habidas se escogió la basada en *Silicon Graphics Open Inventor*, naciendo el VRML 1.0.

El lenguaje se siguió desarrollando en función de las apreciaciones recogidas en *www-vrml*. En 1996, tras recepción de propuestas y votaciones públicas, se adopta el proyecto de **Silicon Graphics**, **Sony** y **Mitra** denominado *Moving Worlds* como nuevo estándar oficial del VRML, ahora llamado VRML 2.0 o VRML 97, que se terminará convirtiendo más tarde en las normas ISO/IEC 14772-1 e ISO/IEC 14772-2.

El último paso en esta evolución está siendo el X3D. Tras la generación del estándar VRML 97 la realimentación de promotores y usuarios continuó hacia lo que iba a ser VRML 3.0, y que finalmente se ha denominado X3D [10], supone importantes mejoras sobre el VRML (que serán referidas más tarde) y en estos momentos todavía no existe un estándar completo para el nuevo lenguaje ya que, de las tres normas ISO en que se ha estructurado, sólo dos se han emitido al completo, estando la otra en fase de desarrollo en una de sus partes [11].

3-3 Formas de realidad virtual y equipos para la misma

Existen diversas formas de realidad virtual [8], algunas de las cuales, como las cabinas de simulación, cono-

ce perfectamente el lector. En la actualidad lo que se usa normalmente en Construcción es la realidad virtual de escritorio.

A su vez, para cada forma de RV se necesitan una serie de equipos que permitan la visión, audición e interacción. Existe gran variedad de equipos de realidad virtual [8], como los *joy-sticks*, *track-balls* o ratones, para la entrada de datos; o los cascos y sistemas de proyección, para la salida. En la actualidad los que se usan normalmente en construcción son los asociados a la realidad virtual de escritorio: pantallas de ordenador o sistemas de proyección de sus imágenes.

3-4 Mundos virtuales

A su vez [8], un mundo virtual puede ser muerto, real, fantástico o mixto. En el primero no hay objetos en movimiento ni partes interactivas y la experiencia del usuario se limita a explorarlo. En el mundo real los objetos se comportan tal como lo harían en la realidad y podemos, por ejemplo, abrir una puerta o ventana. A su vez, el mundo fantástico permite realizar actividades no posibles en la realidad, como volar o atravesar paredes. Por último, puede haber mundos mixtos en los que hay diferentes partes, mezcladas, cada una de ellas de alguno de los tipos ya referidos. En Construcción se usan actualmente los tres tipos de mundo; en particular, el mundo fantástico nos permite ver las futuras construcciones desde cualquier punto de vista y con ello, por ejemplo, valorar mejor su impacto visual.

3-5 Técnicas usadas por la realidad virtual

La RV incluye el uso, fundamentalmente, de cuatro técnicas [8]:

- El modelado geométrico de sólidos, para generar los volúmenes de los objetos del entorno.
- La síntesis de imagen foto-realista, para que tanto esos objetos como los fondos del entorno (por ejemplo, el paisaje de fondo de una simulación de un edificio) sean, idealmente, imposibles de distinguir de escenas reales.
- La animación, para simular el movimiento de los objetos.

• Por último, la interacción hombre-máquina. Probablemente esta técnica y la anterior son las que suponen mayor complejidad.

4- EL VRML

4-1 Introducción y conceptos básicos
El VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) es un lenguaje que permite describir objetos 3D y crear con ellos escenas y mundos virtuales. Se fundamenta en tres pilares básicos [12], que son:

- Realidad virtual.
- Programación orientada a objetos.
- Internet como plataforma de distribución.

Se pueden crear simulaciones interactivas con animaciones, contenidos multimedia e interacción multiusuario en tiempo real. A estos mundos virtuales se puede acceder a través de la Web, mediante un explorador de Internet (como *Microsoft Internet Explorer* o *Netscape Navigator*), al que hay que agregar un módulo adicional (*plug-in*) que añade al navegador la capacidad de leer el código VRML. También existen navegadores específicos concebidos específicamente para VRML. La mayoría de los desarrolladores de *software* de CADD incluyen ya con su *software* la posibilidad de exportar en código VRML objetos previamente creados con dicho *software*.

Para generar el código [8] se puede usar cualquier procesador de textos ya que texto es lo único que contienen los archivos de VRML. De esta manera se controla totalmente el proceso de generación de mundos virtuales si bien supone un esfuerzo de programación importante (la mayoría de los diseños requieren gran complejidad de programación que llevan a que esta alternativa no sea recomendable) y un conocimiento muy profundo del lenguaje y su sintaxis. La segunda alternativa, más recomendable, es el uso de programas específicos, a veces llamados "editores de VRML", que, a través de un interfaz sencillo, permiten generar los objetos y definir sus características (color, rugosidad, ...). Esto ahorra mucho

tiempo, evita la necesidad de un gran conocimiento del lenguaje (incluso lo evita), y, en algunos casos, el autor ve lo que está creando en ese mismo momento sin tener que hacer uso de un navegador de VRML (aunque son mejorables ya que no siempre lo que se ve en el editor es lo que se ve en el navegador), pero el código creado no suele ser tan eficiente. Como se ha anticipado, existe *software* comercial de CADD que exporta objetos a VRML [13], aunque esto, por un lado, es una solución parcial por cuanto no suele permitir la animación de esos objetos (que hay que hacer por otros medios); y, por otro, tampoco el código generado suele ser muy eficiente al ser traducciones de formato aplicadas a objetos que no han sido concebidos pensando en las características del VRML. Por otro lado, normalmente estos editores no tienen capacidad de desarrollo de modelos en 3D, por lo que es necesario crear el modelo 3D por otros medios, como veremos más tarde. En consecuencia, para la realización de un modelo 3D completo en VRML suele ser necesario el uso de varios tipos de paquetes de *software*. Este ha sido el caso del ejemplo de aplicación que se incluye más adelante.

4-2 Estructura y principales herramientas VRML

Además de generar objetos complejos, permite aplicar texturas a los objetos, crear luces, asociar archivos de audio y vídeo a sucesos específicos o para su uso como sonido de fondo o como parte de una animación, o detectar la proximidad de un objeto a otro, o la del usuario (del cursor de su ratón, por ejemplo) a un objeto [8].

A su vez, los objetos están contruidos con nodos. Un nodo es el elemento básico del lenguaje y define una característica de la escena (un objeto tridimensional, un color, una fuente de luz, un archivo de audio, un sensor). Puede ser parte de otro nodo, y posee una serie de atributos que establecen sus características.

Un objeto puede tener varios atributos, que son, a su vez, nodos (nodos padres e hijos). Ejemplos de di-

chos atributos son la geometría o la apariencia. A su vez, cada atributo puede tomar diferentes valores. Por ejemplo, al atributo geometría (*geometry*) se le puede asociar un nodo esfera o cilindro, entre otros. Finalmente, estos últimos nodos pueden tener (o no) uno o varios campos. Así, por ejemplo, el nodo cilindro tiene dos campos: altura y radio.

Además de lo anterior, la interconexión de nodos para intercambiar información por medio de "eventos" permite la animación del entorno virtual. Estos eventos se pueden producir mediante un contador, en la programación, o bien mediante la detección de interacciones del usuario (por ejemplo, cuando éste arrastra el ratón o hace clic sobre un sensor).

Los archivos VRML contienen, por tanto, texto con instrucciones en las que, entre otros aspectos, se describen los objetos tridimensionales y su aspecto, localización, movimiento, o respuesta en caso de acción sobre ellos (con el ratón, con el acercamiento de otro objeto, ...).

Las sentencias para generar objetos son muy sencillas y potentes; por ejemplo, la sentencia *geometry Cylinder (height 1 radius .1)* genera un cilindro de altura 1 y radio 0.1.

Existen [8] una serie de "primitivas" u objetos estándar predefinidos que tienen su propio nodo simple: el cubo, el cilindro, el cono, la esfera y el texto. La segunda herramienta básica de generación de objetos 3D permite crear superficies aproximadas por polígonos; para ello se definen polígonos y la manera en que se unen para formar el objeto. La tercera herramienta permite generar superficies topográficas tridimensionales. La última herramienta esencial es la que permite generar formas por extrusión.

Cada objeto se puede colocar en diferente localización del espacio tridimensional, y puede tener diferentes atributos de apariencia. A su vez, la apariencia se puede establecer mediante diferentes nodos como el que asocia la apariencia a un material determinado o el que la asocia a una determinada textura. La textura (por ejemplo, la apariencia de un muro de

fábrica de ladrillo) puede establecerse mediante un mapa de bits o una imagen de otro tipo (que puede ser una fotografía de algo real). Existen también herramientas para reflejar los efectos de iluminación y sombras. VRML permite la existencia de múltiples fuentes luminosas de varias clases que simulen diferentes tipos de luz (solar, de llama, eléctrica), pudiendo establecerse diferentes localizaciones, orientaciones, intensidades, colores, alcance máximo y factor de atenuación entre otros aspectos.

VRML permite, finalmente, establecer fondos para el cielo, el paisaje y el terreno, añadir niebla a una escena o disminuir la visibilidad con la distancia. Y usa un sistema de coordenadas cartesiano de tres dimensiones, lo cual no excluye el uso de otros sistemas, mediante el uso de transformaciones.

Los objetos, por su parte, pueden moverse [8] o contener partes móviles. Las funcionalidades de animación de VRML permiten también que un objeto cambie de geometría o color, entre otras características. Y los cambios de color pueden ser diferentes en distintas zonas de un objeto lo que permite, por ejemplo, la simulación de respuestas tensionales o térmicas de estructuras. Las comunicaciones entre nodos para enviarse señales que den lugar a la animación se pueden realizar a través del mecanismo denominado "*routing*", con sentencias de programación que definen los eventos / señales que se envían de un nodo a otro. Las animaciones se pueden desencadenar no sólo en función del tiempo sino también de acciones específicas como el clic de un ratón o el paso de éste cerca un objeto, mediante los denominados "sensores". Por último, para comportamientos complejos de objetos, que no puedan ser simulados mediante las herramientas de VRML ya referidas, existe el nodo *Script*, que permite programar dicho comportamiento en otro lenguaje, frecuentemente en *Java* o *JavaScript*, aunque puede ser en otros, como *C/C++*. El nodo *Script* también permite la creación de otros elementos diferentes de los de la mera animación, normalmente usados

para la interacción usuario-sistema, como pueden ser barras de desplazamiento, menús desplegables o mensajes de texto.

4-3 Principales ventajas

VRML permite la construcción de prototipos virtuales con propósitos de experimentación y estudio y ofrece un nuevo recurso de visualización 3D y de colaboración a distancia que puede llevar a avances importantes en la Ingeniería simultánea o concurrente [14], en la que los modelos son accesibles para todos los participantes en el proyecto.

Además, como se ha aludido previamente, y con respecto a las visualizaciones 4D tradicionales no interactivas del tipo de las generadas, (por ejemplo, con *3D Studio*), las ventajas de VRML radican en la interacción del usuario (visualizaciones en función de los deseos del usuario, aspecto que no existe en aquellas simulaciones que no están, por tanto, incluidas en el concepto de realidad virtual); y en la generación de archivos de muy pequeño tamaño que, además, permiten la visualización a través de la Red (Internet e intranets), con tiempos de descarga muy cortos (imposibles con los archivos de visualizaciones tradicionales, que suponen archivos de muchos Megabits).

En el sector de la Construcción, por otro lado, VRML y, en general, la realidad virtual, deberían mejorar la comunicación [15] [12] entre los diferentes actores de sus proyectos y entre éstos y las partes interesadas ajenas al sector, como es el caso de los ciudadanos que necesitan saber la influencia de los proyectos en su vida futura. *Martínez et al* [12] consideran que una de las aplicaciones más prometedoras en este sentido es la consulta pública de proyectos de infraestructuras. Internet ofrece la oportunidad de mostrar al público las características de futuras intervenciones y además permite obtener sus comentarios de una manera automática e instantánea. Las simulaciones de VRML / X3D en Internet pueden ser el puente que una a técnicos y comunidades ([12] citando a [16]). Otras

aplicaciones incluyen la representación de patrimonio arquitectónico físico ya desaparecido o en vías de serlo, o ubicado en sitios remotos, aislados o de muy difícil acceso físico, o cerrados al público. O la reproducción de obras de maestros de la arquitectura que nunca llegaron a ser construidas.

En otro sentido, estas técnicas permiten la simulación de comportamientos de sistemas, lo que supone, por un lado, poder simular procesos de ejecución [15] [17; Fig. 1]. Y por otro lado, permiten simular el ciclo de vida de una construcción. Esto tiene gran importancia dados:

- El aumento de la preocupación social por los impactos medioambientales y de otro tipo de los grandes proyectos de construcción (Internet ofrece una plataforma de encuentro con el ciudadano en el que éste pueda apreciar dicho impacto sin desplazarse de casa).

- El aumento de la complejidad técnica de los proyectos (VRML permite la simulación de operaciones).

- Y el aumento de la importancia de los aspectos relacionados con la explotación en las decisiones clave del proyecto. Con respecto a esto, no se debe olvidar que los costes de mantenimiento de infraestructuras suponen un alto porcentaje del coste total de la inversión en el ciclo de vida de la infraestructura ([12] citando a [18]).

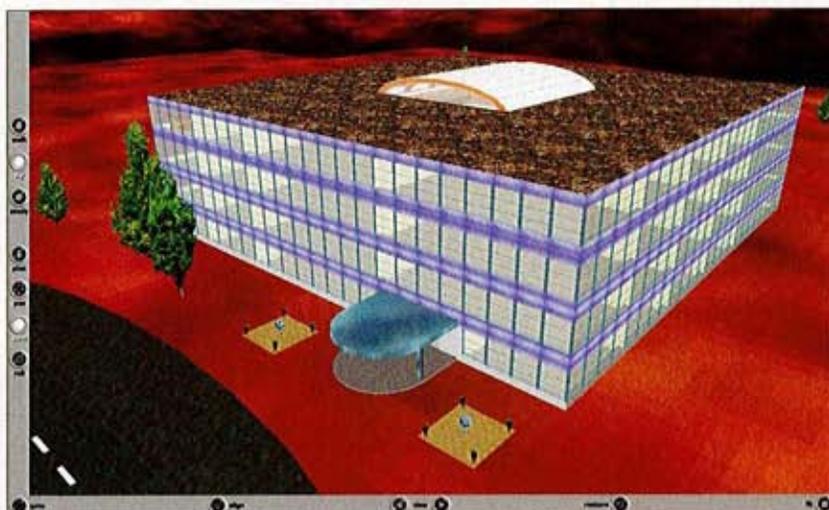


Figura 2: Vista exterior del edificio simulado

4-4 Principales inconvenientes

Probablemente el VRML no ha tenido el éxito que se esperaba. Como se ha aludido ya, y hasta la fecha, tiene una baja capacidad de foto-realismo a la que se han sumado una serie de problemas referidos por varios autores (entre otros, [19], [12] o [14]) y entre los que se encuentran:

- Las dificultades en la exportación de ficheros VRML a otros formatos, con pérdidas de información como problema más habitual.

- La reticencia en el sector de la Construcción a compartir datos y hacerlos públicos.

- La escasez de personal capacitado con conocimientos de programa-

ción y la suficiente familiaridad con la industria de la Construcción.

- El hecho de que, al ser un estándar abierto y gratuito, cuya propiedad no está en manos de ninguna multinacional, los proveedores de *software* sean pequeños y ello suponga cierta reticencia en su adopción.

- Por último, quizá VRML no ha tenido tanto uso como el esperado al perfilarse X3D en el horizonte, anunciándose como el futuro, como un formato universal para todos los gráficos en 3D y realidad virtual. Algunos que empezaron a usar VRML lo abandonaron a la espera de que X3D estuviera listo, lo cual no está siendo algo rápido, ni mucho menos [11].

4-5 Ejemplo de aplicación de VRML en Construcción

Para que el lector se haga una idea más clara de los resultados de la aplicación del VRML en la Construcción, se ha incluido un ejemplo de aplicación (Fig. 2 a 9), desarrollado por dos de los autores, en el que se ha creado un entorno tridimensional interactivo para un edificio universitario destinado a aulario. Este ejemplo tiene unas características de tamaño y complejidad del mismo orden de magnitud que la de la mayoría de proyectos de Construcción (que suelen ser, normalmente, de tamaño pequeño y pequeño-mediano).

El edificio del ejemplo tiene planta cuadrada de aproximadamente 60 x



Figura 1: Ejemplo de simulación de procesos de Construcción (Fuente: National Institute of Standards and Technology, 2006).

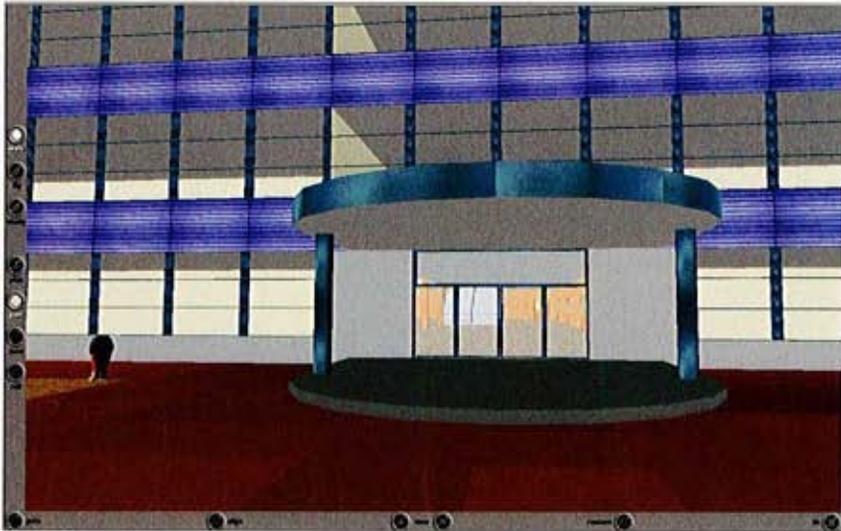


Figura 3: Vista de la entrada al edificio



Figura 4: Vista de la fachada principal

60 m y una altura de unos 17 m, repartidos en cuatro plantas. La estructura incluye forjados bidireccionales aligerados de hormigón sobre soportes de sección circular. Los cerramientos laterales combinan una zona multicapa con un panel sándwich en el exterior, junto con grandes superficies acristaladas, para aportar la iluminación natural necesaria. El diseño interior se caracteriza por un amplio atrio que sube hasta la cubierta del edificio, alrededor del cual se sitúan las distintas aulas. Este atrio está cubierto por una zona acristalada abovedada con estructura de madera la-



Figura 5: Vista de la zona central de la cubierta

minada encolada. El resto de la cubierta es plana, con forjados análogos a los del resto de plantas. El acceso al edificio se resguarda con una marquesina apoyada sobre dos soportes de sección circular. Con estas características se consigue un conjunto muy iluminado apropiado para el fin con el que se ha construido. Cabe destacar que, debido a la búsqueda de la mayor simplicidad posible del ejemplo, en el resultado final no son detectables todos los aspectos constructivos señalados, ni algunos otros que no se detallan aquí. Aún así, como se va a ver, por un lado, el modelo creado es de una complejidad relevante. Y, por otro, dicho modelo sirve para evaluar el diseño realizado tal como se puede apreciar en las figuras 2 a 9.

Tras analizar bibliografía de ayuda específica en el proceso de trabajo ([20] a [23]), el ejemplo se desarrolló con la ayuda de diversas aplicaciones. Es prácticamente imposible crear, mediante la generación directa de código VRML, escenarios de la complejidad del ejemplo presentado. Entre otras [24] [25], existen herramientas como *Internet Space Builder* (ISB, de la empresa **Parallel Graphics**), que permiten crear geometrías más o menos sencillas a las que se aplicarán posteriormente las texturas más apropiadas [26]. Otros programas, como *Internet Scene Assembler Pro* (ISA; **Parallel Graphics**), sirven para crear elementos animados, co-

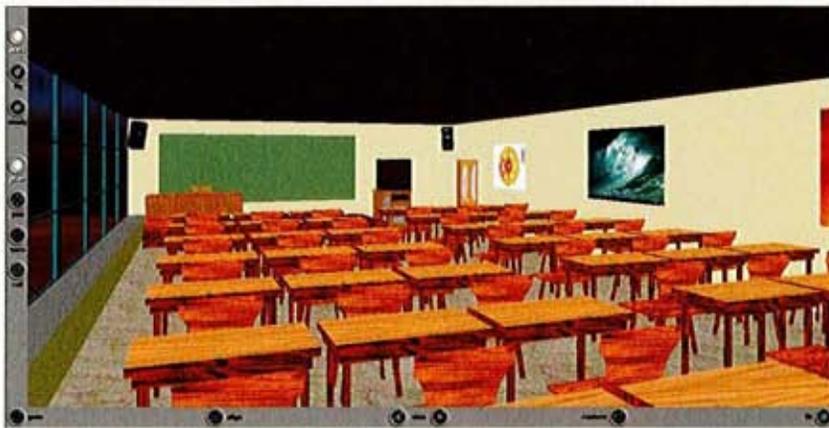


Figura 6: Vista de la zona delantera de un aula

mo las puertas y ventanas que deban abrirse y cerrarse al paso del usuario, y para ensamblar los objetos creados previamente con aplicaciones como ISB, formando el escenario deseado [27]. Existen, por último, aplicaciones como *VrmlPad (Parallel Graphics)*, de ayuda en la tarea de retocar determinados detalles que no se pueden modificar con otros programas como los anteriores [28].

Además de usar las aplicaciones que acabamos de referir, en el ejemplo que se incluye se realizaron manualmente algunas modificaciones editando directamente el fichero de texto con extensión *.wrl*, que es la ex-

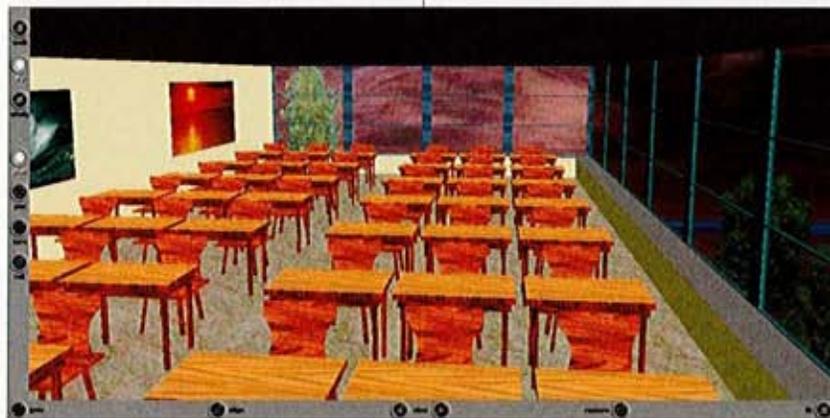


Figura 7: Vista de la zona trasera de un aula y vistas del exterior

tensión del estándar VRML. El archivo *.wrl* contiene la geometría de todos los objetos del escenario y la referencia a las texturas que se aplican a los mismos; dichas texturas se ubican en un directorio aparte y son los elementos que más espacio de almacenamiento ocupan. Para objetos con geometría complicada lo lógico es usar programas comerciales de CAD que permitan exportar esos objetos construidos en formato VRML y, preferiblemente, que sean paramétricos. La ventaja de los sistemas paramétricos es que no es necesario realizar innumerables correcciones como consecuencia de cualquier cambio en el diseño; dichas correcciones las realiza automáticamente el sistema. Los



Figura 8: Vista de una de las zonas de escaleras desde el atrio de la planta baja

beneficios del diseño paramétrico son múltiples. En primer lugar, es posible comenzar el proceso de diseño partiendo de bocetos poco detallados, dibujados habitualmente a "mano alzada". La posterior incorporación de restricciones y dimensiones paramétricas permiten definir completamente el modelo y, luego, redefinirlo cambiando simplemente las referidas restricciones o dimensiones. Otra ventaja importante es la posibilidad de interrelacionar las dimensiones mediante ecuaciones. Ello permite un control muy preciso de la geometría del modelo así como la creación de elementos o componentes estándar con formas y dimensiones dependientes de valores numéricos. Pero quizá la ventaja más im-

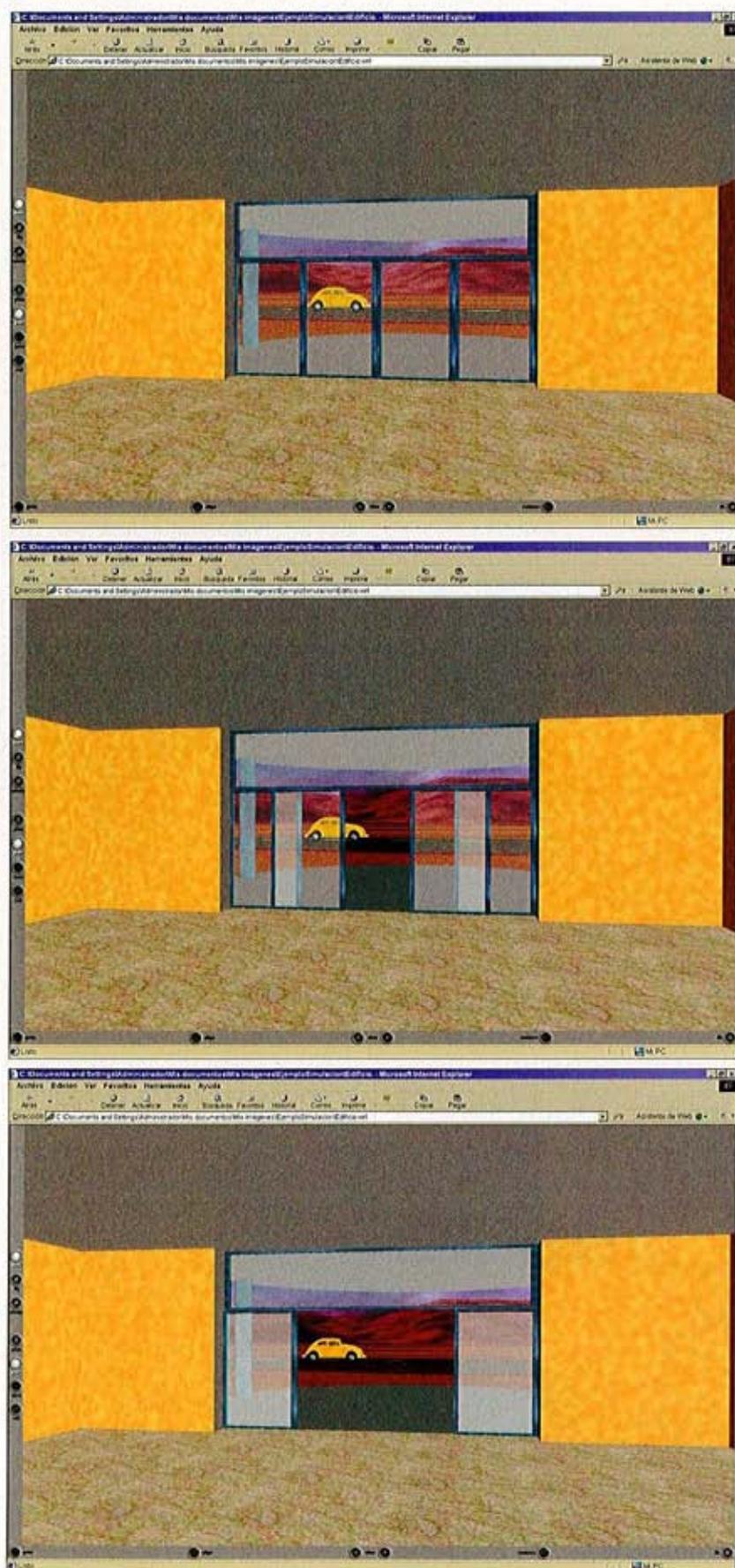


Figura 9: Secuencia de imágenes capturadas durante el acercamiento a una puerta. Entre otras cosas, el modelo incluye puertas que se abren / cierran cuando el usuario se acerca / aleja de ellas.

portante aquí es el hecho de que, en este tipo de aplicaciones paramétricas, cualquier modificación en un elemento del diseño provoca automáticamente las necesarias modificaciones en el resto de elementos interrelacionados con el primero.

Los resultados del proceso de desarrollo se reflejan en las figuras 2 a 9, que se corresponden con algunas capturas de pantalla realizadas por los autores durante una visualización del entorno creado. Dicha visualización se realizó mediante el uso de *Internet Explorer* con el *plug-in Cortona Graphics* [5]. Tal como se puede apreciar, y como ya había referido, el nivel de foto-realismo de estas aplicaciones está por debajo de algunas de las herramientas de simulación 4D no relacionadas con la RV.

A pesar de los avances en el *software* de apoyo para generación de entornos VRML, el lector que desee utilizar este tipo de herramientas debe contar de antemano con ciertos problemas que pueden hacer su trabajo tedioso al tener que repetir una determinada secuencia de trabajo muchas veces; y, a veces, enojoso, al no corresponder los resultados reales con los que teóricamente debían producirse. Trabajos largos y lentos pueden ser, por ejemplo, los de animación de puertas (entre otras cosas, el modelo incluye puertas que se abren / cierran cuando el usuario se acerca / aleja de ellas). Y se pueden tener sorpresas no deseadas, por ejemplo, en lo relativo a la apariencia de las texturas, que pueden no tener en la visualización el mismo aspecto que tienen al escogerlas de un catálogo de ellas, o al generarlas, si no existían. Ello puede llevar a varias repeticiones hasta conseguir el resultado deseado. Problemas parecidos se pueden tener, por ejemplo, con las velocidades de movimiento (mayores o menores de lo que se esperaba; el modelo del ejemplo incluye agua en movimiento).

En general, estos problemas se deben a la relativa juventud de este tipo de aplicaciones informáticas y al hecho de que, al no ser programas de uso masivo, su perfeccionamiento suele ser lento. Otras veces, aunque

se trate de aplicaciones de uso relevante, como es el caso de las de CAD, los módulos de exportación a VRML de estas aplicaciones tampoco funcionan como sería de esperar por razones similares a las anteriores, ya que dichos módulos no son de mucho uso.

Por último, con respecto a la visualización del escenario creado, y a pesar de la intención de universalidad del formato VRML, que debería poderse ver en cualquier ordenador personal, la verdad es que para poder disfrutar de movimientos suaves, realistas y cómodos, es necesario un buen ordenador. El microprocesador tiene su importancia, pero lo más importante es la tarjeta gráfica. En caso de que el ordenador no tenga unas características adecuadas, una posible solución es reducir el tamaño de la pantalla del explorador para reducir la carga de procesamiento.

5- EL FUTURO: X3D

5-1 Introducción

Como se ha anticipado, tras la generación del estándar *VRML 97* la inquietud y el movimiento general de realidad virtual continuaron, y el sucesor del VRML [10] no se ha llegado a denominar *VRML 3.0*, tal como apuntaban las tendencias en 2001, sino X3D. Este nuevo estándar, de nuevo abierto (de uso gratuito, sin royalties asociados), persigue la misión de permitir la comunicación en tiempo real de datos en 3D entre las plataformas más diversas y entre aplicaciones de cualquier tipo, para su uso en construcción, entre otros muchos campos (visualización científica, CADD en otros campos, educación, formación, ocio, ...); constituye una revisión de VRML, incorporando los últimos avances en generación de gráficos y en arquitectura de sistemas informáticos, todo ello basado en años de realimentación tomada de la comunidad relacionada con VRML 97.

5-2 Principales diferencias entre VRML y X3D

El uso de XML (*eXtensible Markup Language*) es sólo una de las muchas novedades de esta, al fin y al cabo,

tercera versión de VRML. XML es un metalenguaje que, además de cumplir la función de intercambio de datos entre aplicaciones (para la que fue creado), permite definir lenguajes a través de su sintaxis. El porqué de este cambio radica en que:

- VRML tenía diversos problemas de programación que, en principio, quedan resueltos con XML, que aporta [10] mayor facilidad para gestionar, controlar, validar e intercambiar información.

- Y en que, por otro lado, XML se está convirtiendo en un estándar de gran aceptación.

En X3D el XML se ha usado para redefinir el VRML, tomando cada uno de los nodos definidos en VRML y rescribiéndolo, utilizando un nuevo lenguaje basado en XML y orientado a la representación de escenas. La sintaxis de VRML se mantiene porque el nuevo lenguaje se ha diseñado de forma que sea posible la transformación bidireccional entre las sintaxis VRML-X3D y X3D-VRML. X3D es, por tanto, un VRML modularizado y especificado a través de XML, con casi total compatibilidad con VRML, así como con los *plug-in* y herramientas actuales. El proceso de modularización de VRML para pasar a X3D ha significado la división en:

- **Componentes.** Son agrupaciones de nodos que ofrecen una determinada funcionalidad. Por ejemplo, el componente *scripting* agruparía nodos dedicados a la programación, y el componente *geometry* nodos de geometría.

- **Niveles.** Los componentes pueden tener niveles. Así, por ejemplo, dentro del componente *geometry* se podría definir un nivel para las primitivas básicas y otro para las formas más complejas.

- **Perfiles.** Son agrupaciones de componentes. Un navegador cumple con un perfil cuando es capaz de interpretar los nodos de ese conjunto de componentes. Existirán perfiles estándar definidos por el **Web3D Consortium**, y perfiles propietarios a los que se les distinguirá a través de un sufijo con el nombre de su empresa propietaria. Los perfiles forman una jerarquía en la que los perfiles de

niveles superiores van incluyendo a los inferiores. Así, por ejemplo, los mundos virtuales X3D-1 podrán verse en navegadores X3D-1 o superiores, mientras que será imposible ver un mundo X3D-2 en un navegador de X3D-1. El consorcio ha definido una serie de perfiles básicos predefinidos, como el *interchange* o el *vrml97*. Este último incluye todos los componentes necesarios para dotar a X3D de la funcionalidad completa de VRML97. De esta forma, para convertir un mundo VRML-97 en X3D sólo hace falta cambiar la cabecera del archivo; o ni eso, si el navegador de X3D ya reconoce los archivos de VRML.

La razón fundamental de esta jerarquía es obtener aplicaciones de tamaño mínimo. *Interchange X3D* es el núcleo de este nuevo estándar. Es la base del lenguaje y lo único que hace es, esencialmente, dibujar nodos *IndexedFaceSets* (ya referidos con anterioridad al hablar de VRML) y establecer materiales y luces. La ventaja de esto es que *Interchange X3D* es muy pequeño; hay implantaciones que no sobrepasan los 60 Kb. Ahora, por tanto, la parte principal del lenguaje es todavía más pequeña que con VRML, lo que permite su integración en dispositivos como PDAs y teléfonos móviles. Otras modificaciones de X3D incluyen, entre otros aspectos:

- La incorporación de la capacidad que suponen los recientes avances en *hardware* comercial de generación de gráficos (con la introducción de nuevos tipos de nodos y datos).

- O mayor claridad y precisión en el funcionamiento de la iluminación y de los ya referidos eventos, permitiendo la integración del estándar MPEG-4 (VRML permitía la de MPEG-2).

- Además, X3D va a incluir la posibilidad de formato binario y, con ello, encriptación (y, con ello, seguridad) y compresión (y, con ello, más velocidad). Esta posibilidad está en fase desarrollo [29] [11].

En general, por tanto, X3D va a ser [10] un estándar considerablemente más maduro y refinado que VRML, que va a aportar mayor facilidad para conseguir los efectos y

comportamientos deseados por el programador. Tiene todos los elementos necesarios para triunfar (fácil de aprender; sencillo y de tamaños muy reducidos; extensible; abierto; va camino de convertirse en el estándar de la industria), pero cabe la posibilidad de que, al tener unos objetivos tan altos (formato universal para todos los gráficos en 3D y realidad virtual), si no se trabaja lo suficiente, X3D fracase por exceso de ambición.

5-3 Estado actual del desarrollo de X3D

La normativa ISO relativa a X3D se estructura en tres normas [11], que, a su vez, se subdividen en dos o tres partes cada una. La primera es la norma ISO 19775, que trata de la estructura de X3D y que, a su vez, está formada por dos partes. La segunda es la norma 19776, que trata sobre la codificación y que se ha sub-dividido en tres partes. Y la tercera es la norma 19777, relacionada con la integración de rutinas generadas en otros lenguajes, que está dividida en dos partes. Toda esta normativa está aprobada y publicada, salvo la Parte 3 de la norma 19776, que se encuentra en desarrollo en el momento de escribir este artículo. Por otro lado, las otras dos partes de la norma 19776 se han publicado en 2005, y las dos partes de la norma 19777 se han publicado en 2006.

En otro sentido, el grupo de trabajo de CAD del *Web3D Consortium* [19] está actualmente ocupado en la definición específica de herramientas para este sector. Por otro lado, existen otras técnicas avanzadas emergentes que están ya concebidas para combinarse con X3D, como es el caso de H3D (*Haptic 3D*). Así, por ejemplo, *SenseGraphics H3D API* [30], es una plataforma de desarrollo de *software* para aplicaciones multi-sensoriales (vista + oído + tacto) que usa X3D y *OpenGL* para generar mundos virtuales que permitan la interacción y el control mediante el tacto.

En resumen, y como consecuencia de todo lo anterior, X3D no está realmente listo todavía para su uso ya que, por un lado, hay una parte del estándar que está por desarrollar. Por

otro lado, algunas partes del estándar acaban de publicarse este año. Y, por último, los fabricantes están todavía trabajando para terminar el estándar y desarrollar herramientas.

6- CONCLUSIONES

VRML / X3D es un posible pilar a futuro de la Ingeniería simultánea, que permita trabajar en el mismo diseño a múltiples personas. En Construcción es cada vez más frecuente que las empresas de Ingeniería, para optimizar sus recursos, pongan a trabajar en un mismo proyecto a profesionales que se encuentran en diferentes localizaciones geográficas (a veces, incluso, en diferentes continentes). Ello exige el uso de herramientas informáticas y de comunicación que permitan dicho trabajo conjunto sin problemas. *VRML / X3D* pueden ayudar, junto con otras soluciones de *software* de Ingeniería y Comunicación, a una mejor realización de ese trabajo. Además, como se ha comentado, puede permitir que el público conozca los proyectos de iniciativa pública desde sus casas, de manera gratuita e inmediata, durante los períodos de información pública y alegaciones. Este lenguaje permite no sólo conocer la geometría o diseño realizado, sino que permite generar simulaciones del funcionamiento de la nueva instalación a construir. Y todo ello usando archivos de muy pequeño tamaño que, por ello, permiten la visualización a través de la Red con tiempos de descarga muy pequeños.

Sin embargo, el *VRML* es todavía de una tecnología joven con sus correspondientes desventajas aquí resumidas. Ello ha llevado a que no esté suficientemente afianzada para ser adoptada en una industria como la de la Construcción. Además, para su adopción en este sector, no sólo harían falta mejoras en el estándar, que probablemente vendrán de la mano de X3D, sino que el sector de la construcción debe cambiar algunas partes de su filosofía y prácticas habituales para poder obtener beneficios de estas tecnologías.

De todas formas, se trata de algo con indudables potencialidades para

la industria de la Construcción, probablemente a medio plazo, derivadas:

- De un mayor nivel de accesibilidad, comparada con los documentos en papel, con los documentos electrónicos tradicionales que reflejan el diseño, y con sus visualizaciones tradicionales.
- De la reducción del espacio de almacenamiento de información.
- De una mayor velocidad y confiabilidad en la entrega de información.
- De la posibilidad de establecer modelos que contemplen ciclos de vida o comportamientos en el tiempo, entre otros aspectos.

A futuro, cabe esperar que se vea un uso creciente de técnicas de visualización a través de la Red y es más que deseable y lógico pensar que se conseguirá una mayor facilidad de uso de las herramientas de dibujo y diseño, y, en particular, en determinados aspectos, como es la visualización; ello llevará a una mayor utilización de este tipo de herramientas. En particular, si se trabaja a fondo en ello, X3D puede llegar a representar un gran avance a la hora de lograr facilidad de uso de las herramientas de visualización. El éxito de *VRML / X3D* en el sector de la Construcción [14] depende de la futura evolución de la tecnología CAD orientada a objetos y de los protocolos estándar de intercambio de datos. Los sistemas CADD orientados a objetos son una realidad emergente en la práctica del diseño en Construcción.

7- BIBLIOGRAFÍA

- DE LA CRUZ, M.P., DEL CAÑO, A. (2001), "Construcción y arquitectura industrial para el siglo XXI: un análisis preliminar", Informes de la Construcción (Instituto Eduardo Torroja, Madrid, España), Vol. 53, nº 473, Mayo-Junio de 2001, pp. 39-53.
- DEL CAÑO, A., DE LA CRUZ, M.P. (1993), "Del dibujo asistido por ordenador a la construcción integrada por ordenador: una propuesta conceptual", Revista DYNA, diciembre de 1993, pp. 30-33.
- DOMINGUEZ, M., CONDE, J., BORREGO, J.L., ESPINOSA, M.M., FADON, F., POSE, J., OCHOA, J.M.,

Sanz, J.M., DE LA CRUZ, M.P., DEL CAÑO, A., ARENAS, J.M. (1995), "Diseño y dibujo asistido por computador", UNED, Madrid, España (ISBN 84-362-3282-8).

- WAGTER, H. (1992), "Computer integrated construction", Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

- Parallel Graphics (2005), "Cortona Cortona VRML Client 4.2", plugin para el sistema operativo Windows descargado por los autores en esta y en anteriores versiones, desde la página Web www.parallelgraphics.com/products/cortona (consultado por última vez en junio de 2005).

- SGI (2006), Silicon Graphics y Platinum Technology, *Cosmo Player 2.1.5 for IRIX*, disponible para su descarga en Web www.sgi.com/products/software/cosmo/ (consultado en diciembre de 2006).

- Blaxxun (2006a), Blaxxun Contact, disponible para su descarga en la página Web http://www.blaxxun.com/home/index.php?option=com_content&task=view&id=66&Itemid=138 (consultado en diciembre de 2006).

- DIAZ, A.M., GONZALEZ, M.J. (2001), "Informática gráfica y su aplicación a modelos geométricos 3D: realidad virtual", documentación interna Departamento de Ingeniería Industrial II, Universidad de La Coruña.

- WARWICK, K., GRAY, J., ROBERTS, D. (editors) (1993), "Virtual Reality in Engineering", The Institution of Electrical Engineers, UK.

- Web3D Consortium (2005), Web del Consorcio Web3D (Web3D Consortium, 225 Bush Street, 16th Floor, San Francisco, CA 94104, USA), consultada en <http://www.web3d.org/> en junio de 2005.

- ISO (2006), página Web de la International Organization for Standardization (ISO) consultada por última vez en diciembre de 2006 en <http://www.iso.org/>.

- MARTINEZ, P., FINCH E., UR-SUA, C., ZAZU, T., ARLEGUI, J. (2002), "Virtual Reality Modelling Language en proyectos de construcción", AEIPRO VI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, organizado por la Asociación Española

de Ingeniería de Proyectos, Barcelona, 23 al 25 de octubre de 2002, pp. t10-35-1 a t10-35-9.

- BELMONTE, E., BILBAO, N., LOPEZ, J.M. (2004), "VRML, el complemento al diseño CAD / CAM / CAE", Revista DYNA, junio de 2004, pp. 18-20.

- The Construction Industry Institute (2005), "Emerging Construction Technologies. VRML Applications in Construction.", The Construction Industry Institute (CII), consultado en <http://www.new-technologies.org/ECT/Internet/vrml.htm>, en julio de 2005.

- LIPMAN, R., REED, K. (2000), "Using VRML in Construction Industry Applications", Proceedings of the Web3D-VRML 2000 Symposium, 21-24 Feb 2000, Monterey, CA, USA, pp. 119-124.

- GOODFELLOW, D. (1996), "Collaborative Urban Design through Computer simulations" Undergraduate essay, School of Urban and Regional Planning, University of Waterloo, Ontario, Canada.

- National Institute of Standards and Technology (2006), "Visualization of Structural Steel Product Models, Construction Sites and Equipment, and the Virtual Cybernetic Building Testbed", National Institute of Standards and Technology (NIST), USA, Building and Fire Research Laboratory, consultado por última vez en <http://cic.nist.gov/vrml/>, en diciembre de 2006.

- FLANAGHAN, R., Norman, G. (1983) "Life Cycle Costing for Construction", The Royal Institution of Chartered Surveyors, UK.

- LIPMAN, R. (2002), "Mobile 3D Visualization for Construction", Proceedings of the 19th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 23-25 September 2002, Gaithersburg, MD, USA, pp. 53-58.

- AMES, A.L., NADEAU, D.R., MORELAND, J.L. (1996), "VRML 2.0 Sourcebook", Wiley.

- CAREY, R., BELI, G. (1997), "The Annotated VRML 2.0 Reference Manual", Addison-Wesley.

- ENGELI, M. (2001), "Bits and Spaces: CAAD for Physical, Virtual

and Hybrid Architecture at ETH Zurich", Birkhauser.

- VACCA, J.R. (1996), "VRML, Bringing Virtual Reality to the Internet", Academic Press.

- Parallel Graphics (2006a), "Web3D Products", aplicaciones diversas de ayuda en la generación de mundos virtuales VRML, consultado por última vez en diciembre de 2006 en <http://www.parallelgraphics.com/products/>.

- Blaxxun (2006b), productos de la empresa Blaxxun de apoyo en la generación de mundos virtuales, consultado en <http://www.blaxxun.com/home/> en diciembre de 2006.

- Parallel Graphics (2006b), "Internet Space Builder", software de ayuda en la generación de mundos virtuales VRML, consultado por última vez en diciembre de 2006 en <http://www.parallelgraphics.com/products/isb/>.

- Parallel Graphics (2006c), "Internet Scene Assembler", software de ayuda en la generación de mundos virtuales VRML, consultado por última vez en diciembre de 2006 en <http://www.parallelgraphics.com/products/isa/>.

- Parallel Graphics (2006d), "VrmlPad", software de ayuda en la generación de mundos virtuales VRML, consultado por última vez en diciembre de 2006 en <http://www.parallelgraphics.com/products/vrmlpad/>.

- Web3D Consortium (2006), Web del Consorcio Web3D (Web3D Consortium, 325 Sharon Park Drive, Suite 623, Menlo Park, CA 94025, USA), sub-página Web dedicada a los trabajos actuales de desarrollo del X3D, consultada en <http://www.web3d.org/x3d/> en diciembre de 2006.

- SenseGraphics (2006), "SenseGraphics H3D API", software de ayuda en la generación de mundos virtuales multi-sensoriales, consultado en diciembre de 2006 en http://www.sensegraphics.com/product_info.php?products_id=31&osCsId=e693a0ad2d9e9d936eb9ed890250ef2b. ■