

PROPUESTA DE ARQUITECTURA PARA LA GENERACIÓN INTERACTIVA DE ENTORNOS DE REALIDAD VIRTUAL ORIENTADOS AL ADIESTRAMIENTO DE LA PERCEPCIÓN ESPACIAL MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE DOMINIO PÚBLICO

Javier Suárez Quirós, Ramón Rubio García, Ramón Gallego Santos, Santiago Martín González, Marcos Corrada Arjona

Área Expresión Gráfica en la Ingeniería

E.U.I.T.I. Gijón (Universidad de Oviedo)

quiros@uniovi.es

1. Resumen

En este trabajo se describe el diseño e implementación de un entorno de realidad virtual colaborativo (es decir, que permite la interacción simultánea de varios usuarios entre sí) accesible a través de la Web, y dedicado al adiestramiento de la percepción espacial. La principal novedad radica en la posibilidad abierta al docente para diseñar, modificar y gestionar el entorno virtual a través de un sencillo interface Web, lo que permite una elevada personalización del entrenador. Para su implementación, se han elegido herramientas de dominio público, las cuales han mostrado una elevada eficacia y capacidad de integración, salvaguardando al mismo tiempo la independencia tecnológica y la capacidad de soporte multiplataforma.

2. La relevancia de la Percepción Espacial en la Formación Técnica

La habilidad de poder recrear la imagen de un objeto y poder manipularlo mentalmente tiene una significativa aplicación práctica en campos como la matemática, física, arquitectura o ingeniería [10]. Esta capacidad, conocida con el nombre de *Percepción Espacial*, es la más importante de todas aquellas que un individuo debe poseer para el ejercicio de la ingeniería, en opinión de Mohler [9]. Aunque el debate sobre la cuestión sigue abierto, las habilidades que esta capacidad engloba se enmarcan dentro de dos grandes apartados [11]: El reconocimiento de un objeto tridimensional desde ángulos diferentes (*relación espacial*) y la percepción de la estructura interna de una configuración espacial dada, determinando las relaciones espaciales entre el entorno y el individuo (*visualización espacial*).

Ciñéndose al ámbito de la ingeniería, *el dibujo técnico y la representación por vistas*, que poseen una obvia conexión con el razonamiento espacial y las transformaciones geométricas, parecen ser excelentes catalizadores de las capacidades perceptivas de los sujetos [12]. La integración de varias vistas ortogonales en una única perspectiva produce un entrenamiento de la visualización espacial, del mismo modo que la obtención de nuevas vistas a partir de una dada fomenta la relación espacial.

Los progresos tecnológicos que han permitido la irrupción de los ordenadores con elevadas capacidades gráficas en el ámbito educativo, han desbancado a los tradicionales test sustituyéndolos por materiales más eficaces como modelos geométricos realizados en CAD 2D y 3D [4,7] así como animaciones tridimensionales y videojuegos [17]. En la actualidad, la **Realidad Virtual** permite al usuario una expansión del mundo real jamás imaginable hasta la fecha, posibilitando el diseño de herramientas dotadas de una efectividad mucho mayor [8], ya que esta tecnología no

sólo permite una interacción dinámica e inmediata, sino la sensación de “inmersividad” en un espacio tridimensional cuasi-real donde es posible crear una realidad paralela adaptada a las necesidades impuestas por el proceso cognitivo a desarrollar.

3. Motivación y Problemática surgida

El Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería de la E.U.I.T.I. de Gijón (Universidad de Oviedo), imparte la asignatura cuatrimestral **“Gráficos por Computador”** en el Campus Virtual Compartido [14], una iniciativa puesta en marcha en 2000 por el grupo G9 de Universidades, y que permite a los alumnos de las mismas cursar dichas asignaturas de forma no presencial como estudios de Libre Configuración. Centrada en el conocimiento de los principios matemáticos, geométricos y físicos que fundamentan la generación de gráficos en un computador, aglutina a un grupo heterogéneo de estudiantes, donde abundan los perfiles de ingeniería industrial e informática, principalmente, dado su carácter transversal.

Tras dos años de docencia de la asignatura, se ha observado que un grupo numeroso de alumnos presenta *importantes problemas* de comprensión en aquellos conceptos geométricos relacionados con la percepción espacial. En concreto, los conceptos cuya comprensión resultó más dificultosa se pueden agrupar en dos grandes apartados:

- *El concepto de Proyección* (figura 1), indispensable para el conocimiento de la transformación perspectiva, debido a su incapacidad para identificar correctamente los elementos que intervienen en la misma y las correlaciones que se establecen entre las figuras origen e imagen.

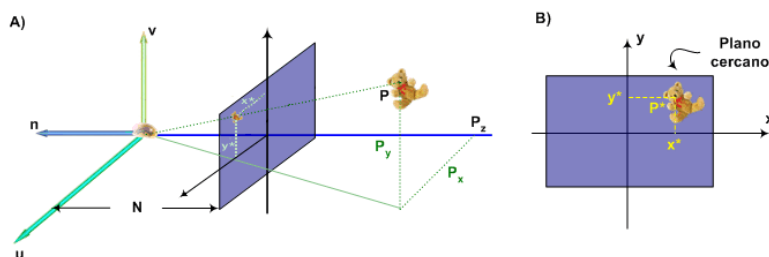


Figura 1.- Concepto de Proyección

- El conjunto de transformaciones que permiten representar en un periférico de salida la geometría definida en una escena tridimensional desde un determinado punto de vista se conoce como *pipeline gráfico* (figura 2). La visualización de la escena en cada una de las transformaciones intermedias supone una complejidad insuperable para algunos alumnos.

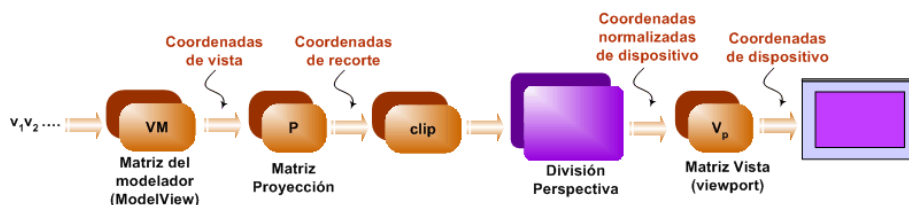


Figura 2.- Representación esquemática del Pipeline gráfico

Las razones que explican la aparición de esta problemática se fundamentan en la ausencia de un adiestramiento previo de los alumnos en el lenguaje gráfico, la naturaleza bidimensional de las ilustraciones (las proyecciones enmascaran la verdadera naturaleza 3D), y la falta de interactividad que ayude a reforzar el proceso cognitivo de aprendizaje (pudiendo elegir interactivamente distintos puntos de vista).

En definitiva, *se impone la búsqueda de herramientas que permitan satisfacer estas necesidades dentro del entorno Web sobre el que se desarrolla la asignatura.*

4. Los Entornos Colaborativos de Realidad Virtual

Teniendo en cuenta la posibilidad de mejora de la capacidad espacial con el entrenamiento [11], se ha propuesto el diseño y posterior implementación de recursos orientados a la ejercitación de estas destrezas, partiendo de los siguientes requisitos:

- Desarrollar herramientas con capacidades gráficas tridimensionales y con un grado de inmersividad adecuado que resulten atractivas para el alumno, ofreciendo un soporte multiusuario que permita el trabajo colaborativo.
- Facilitar al docente la configuración y gestión de la herramienta, desde el punto de vista académico y administrativo.
- Garantizar la accesibilidad de dichas herramientas a todos los alumnos, intentando independizarlas de ubicaciones físicas específicas, y promover la disponibilidad a mejoras, revisiones y ampliaciones futuras.
- Asegurar la facilidad en el manejo de tales recursos, de modo que la interacción con los mismos no suponga un obstáculo.
- Emplear entornos de desarrollo encuadrados en el ámbito del dominio público, con el fin de minimizar costes y universalizar resultados, procurando la independencia de los recursos frente a plataformas y sistemas operativos.

La respuesta a estas inquietudes es el proyecto **Lab3D**, encaminado a la creación de un entorno CVE (*Collaborative Virtual Environments*, Entornos Virtuales Colaborativos) [2]. Se trata de un escenario sintético, generalmente de carácter tridimensional, pensado para la acción y la interacción, donde los usuarios pueden relacionarse entre sí o con otros agentes pertenecientes al mundo virtual, y al que se accede desde sencillos interfaces gráficos creados para la Web o a través de sofisticados periféricos como los cascos VR o los datagloves. La adecuación técnica de los CVE a los requisitos exigidos es muy elevada. Además, existen sólidas razones pedagógicas que avalan el empleo de los CVE como eficaces herramientas en el proceso de *enseñanza-aprendizaje* [3]:

- *Una sensación de espacio común*, ya que todos los participantes desarrollan su actividad en el mismo lugar, sea éste real o ficticio, con unas características similares que no dependen de ningún factor externo. La posibilidad de recrear una metáfora especialmente diseñada para el entrenamiento de la percepción espacial, hace que la potencia de los CVE no sea comparable con la de otros recursos, mucho más limitados en cuanto a posibilidades creativas se refiere.

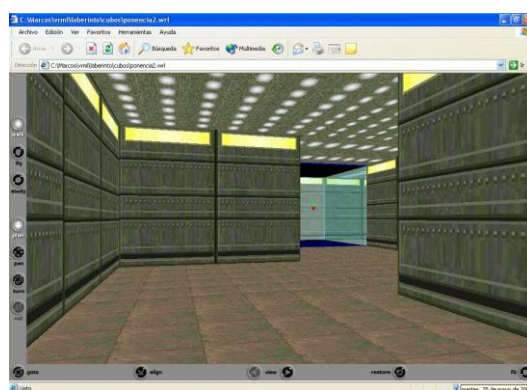


Figura 3.- La metáfora del laberinto tridimensional

Tras analizar las prestaciones ofrecidas por estos entornos, y valorar el binomio eficacia-atractivo, en **Lab3D** se ha optado por una metáfora espacial basada en un *laberinto tridimensional* (figura 3), donde el usuario, situado en una entrada del mismo, debe localizar la única salida existente. El sujeto puede desplazarse en todas las direcciones del espacio permitidas por la geometría del recinto, empleando para ello una representación tridimensional del laberinto, y valiéndose del teclado y/o ratón. Para ayudar a la consecución del objetivo, se muestran en todo momento dos vistas ortogonales (planta y alzado) de la estructura, localizando en las mismas tanto la posición del sujeto como la de la salida del laberinto. De ese modo, el alumno se ve forzado a realizar de forma intensa y reiterativa una conversión entre el espacio tridimensional que ve ante sus ojos, y la proyección bidimensional del mismo (de igual modo que hace el ingeniero al interpretar un plano) para poder decidir sus movimientos al llegar a las bifurcaciones. Este proceso, como se ha comentado anteriormente, presenta una gran eficacia en el reforzamiento de las habilidades espaciales.

- *Una sensación de presencia*, ya que el participante adopta una identidad virtual en el CVE (denominada comúnmente *avatar*), donde localiza otros avatares y agentes dotados de comportamiento con los que puede interactuar y desarrollar tareas conjuntas. La importancia que toma el trabajo colaborativo, como elemento imprescindible en el proceso de enseñanza-aprendizaje, se centra en las posibilidades de desarrollo de nuevos modelos cognitivos (en lo que se refiere a métodos de acceso y representación de la información), así como en el efecto catalizador sobre la adquisición de competencias tales como la argumentación o el contraste de ideas [1]. La estrategia colaborativa propuesta en **Lab3D** consiste en la participación simultánea de varios sujetos en tres modalidades distintas:
 - *Competitiva*: En un tiempo limitado, los participantes deben localizar la salida del laberinto, adjudicándose el triunfo aquel que lo consiga en menos tiempo. En este caso, la sensación de presencia contribuye a la adición de un factor competitivo que estimula la resolución de la actividad.
 - *Colaborativa*: Se forma un grupo de participantes representados por *avatares* individuales que, en un tiempo limitado, deben encontrar conjuntamente la salida. La sensación de presencia refuerza en este caso la colaboración y el intercambio de ideas y opiniones, añadiendo un valor reflexivo a la actividad.
 - *Mixta*: Conjuntos de participantes, entre cuyos miembros existe comunicación, compiten entre sí por la resolución del laberinto, aunando las dos modalidades anteriores.
- *Una forma eficaz de comunicación*, ya que los participantes, distribuidos de forma dispersa e interactuando conjuntamente en la metáfora, no sólo emplean los recursos más convencionales puestos a su disposición para intercambiar ideas y opiniones (chat, voz, videoconferencia). También hacen uso de la comunicación no verbal, tan paradigmática en las relaciones humanas, a través de gestos y expresiones vinculadas a los avatares y agentes del entorno [1].

En **Lab3D**, la actividad colaborativa precisa la implementación de alguna herramienta de interacción. En un primer momento se ha adoptado un chat textual, que será sustituido en el futuro por la comunicación oral, mucho más fluida. En definitiva, estos recursos canalizan el intercambio de opiniones, con

las ventajas ya comentadas que esto proporciona al proceso de enseñanza-aprendizaje.

5. Aspectos Técnicos de los Entornos Colaborativos de Realidad Virtual: Soluciones aportadas

Los entornos CVE presentan una serie de dificultades de diseño, que derivan fundamentalmente de la sinergia de dificultades que supone la integración en una misma aplicación de desarrollos software complejos (sistemas distribuidos, aplicaciones gráficas y aplicaciones interactivas), así como de la serie de servicios colaterales que deben añadir para adquirir su correcta funcionalidad (bases de datos, autenticación de usuarios, etc) [13]. La efectividad de un entorno CVE, desde un punto de vista tecnológico, se consigue a través del equilibrio entre una serie de factores concurrentes, los cuales poseen a menudo un comportamiento opuesto entre sí. A continuación se detallan los más significativos, así como las soluciones aportadas en el diseño de **Lab3D**.

5.1. Motor Gráfico y Dispositivos de Visualización

La elección de estos componentes es una decisión estratégica de primer orden. El *motor gráfico* es el responsable de la generación del escenario virtual a partir de la concepción geométrica del mismo en un proceso conocido como *pipeline*. La visualización final es un proceso costoso computacionalmente hablando, reservado hasta hace poco a estaciones de trabajo de altas prestaciones. En la actualidad, los procesadores gráficos otorgan a los computadores personales unas capacidades razonables, potenciadas por la aparición de estándares como la librería OpenGL [16].

Considerando los requisitos exigidos al entrenador, para implementar la funcionalidad gráfica del CVE se ha recurrido al empleo de **VRML** (*Virtual Reality Modeling Language*) [15], un lenguaje de script para la descripción de escenas tridimensionales que permite la creación de modelos interactivos en base a una estructura arborescente conocida como grafo. Cada nodo de esta arquitectura define la geometría, aspecto y comportamiento de cada objeto. Las razones que han llevado a su elección son las siguientes:

- Independencia de la plataforma y/o sistema operativo elegido. La visualización del escenario VRML se realiza desde el propio navegador, gracias a la inclusión de unos programas auxiliares denominados *plug-ins* que añaden la funcionalidad requerida.
- Al tratarse de un lenguaje de script, la creación y gestión posterior de las escenas resulta sencilla (al ser editable en modo texto) y económica, ya que las necesidades de ancho de banda que exige la interacción son muy reducidas.
- VRML es una tecnología de dominio público, no sometida a las arbitrariedades de las grandes multinacionales del sector.
- Presenta una elevada extensibilidad, conseguida mediante lenguajes auxiliares como Java o PHP, que permiten la creación de nuevos tipos de nodos o la inclusión de soporte multiusuario.

5.2. Dispositivos de Interacción

Los usuarios han de ser capaces de interactuar con otros agentes y avatares del entorno para poder establecer una comunicación efectiva. Esas tareas son posibles

gracias a la acción de los dispositivos de entrada. En el motor gráfico VRML, el ratón y el teclado son los encargados de estas funciones, permitiendo la navegación en el CVE (desplazamientos, rotaciones y cambios en el punto de vista), la definición de otros parámetros auxiliares (velocidad de desplazamiento), la interacción con el entorno (seleccionar objetos, elegir entre varias opciones), y el establecimiento de la comunicación textual.

5.3. Unidad de Procesamiento

En el corazón del CVE se encuentra la *unidad de proceso* [13], un componente lógico que recibe los eventos originados por los dispositivos de entrada manejados por los participantes, y se encarga de computar los cambios que esas acciones originan no sólo en la vista del usuario que las ha causado, sino en la de todos los que intervienen. Además, la unidad de proceso es capaz de tomar decisiones acerca de cómo y cuándo notificar estas variaciones a los participantes. Simultáneamente, recibe información sobre la posición de los usuarios en la metáfora, así como sobre el estado de agentes y avatares, algunos de los cuales son modelados y gobernados de forma exclusiva por la unidad de proceso. Finalmente, es la encargada de indicar al motor gráfico la generación de la imagen actualizada del entorno, y gestionar en todo momento la base de datos de respaldo que almacena toda esa información. (figura 4)

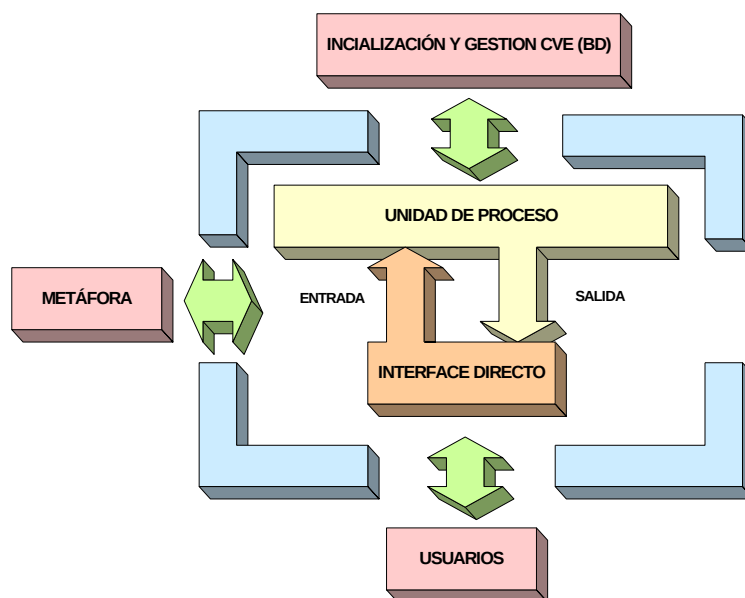


Figura 4.- Esquema funcional del CVE

En el proyecto que se describe, la unidad de procesamiento del CVE reside físicamente en un computador de prestaciones medias con sistema operativo Linux, y ha sido programada en **PHP** (acrónimo de “PHP: Hypertext Preprocessor”) [5]. Se trata de un lenguaje interpretado de alto nivel incrustado en el código HTML y ejecutado en máquinas servidoras, que permite procesar la información procedente de formularios Web, generar páginas con contenidos dinámicos, o mandar y recibir cookies. Las razones que han aconsejado su uso en el entrenador son:

- Su gran capacidad de integración en el entorno Web, lo que facilita en gran medida la integración con el motor VRML.
- La sólida infraestructura que posee para el manejo de un gran número de bases de datos, protocolos y APIs (*Application Programming Interface*, Interface para la programación de aplicaciones)

- La potencia de programación que exhibe es similar a la de otros lenguajes de alto nivel, como C, Java o Perl, de los cuales toma la mayor parte de su sintaxis.
- Se trata de un producto de código abierto que en la actualidad está instalado en varios millones de servidores de todo el mundo, y que es soportado una vasta y activa comunidad de programadores.

La funcionalidad de PHP se desarrolla gracias a la arquitectura cliente-servidor que estructura **Lab3D**, y que se detalla posteriormente. La especificación VRML 2.0 [6] introduce la descripción de técnicas para animar los contenidos estáticos de la escena. Entre ellas, contempla la definición de nodos preparados para la ejecución de scripts externos (ScriptNode) capaces de incidir sobre el pipeline gráfico de la escena, generar eventos y recibir notificaciones, lo que ha permitido la fácil vinculación entre el motor gráfico y la unidad de procesamiento.

5.4. Infraestructura de Comunicación

Junto con el motor gráfico, la *arquitectura y características de la red de transmisión* de datos empleada para la interconexión de los participantes, son determinantes a la hora de abordar el diseño del CVE. Todos los eventos producidos por los usuarios y/o agentes del entorno, la posición de los avatares en el CVE, el soporte para las herramientas de comunicación, precisan de una adecuada estructura de transmisión para la efectividad de la plataforma [13]. Sin duda, se trata de uno de los aspectos que más condiciones de contorno aporta al diseño conceptual de un CVE:

- La capacidad de las redes de transmisión de datos es *limitada*. Es preciso llegar a un compromiso en la definición del mínimo ancho de banda exigido para que la interacción en el entorno pueda ser satisfactoria.
- En relación con el problema anterior, se añade la circunstancia de la *heterogeneidad* de los clientes conectados, no sólo en cuanto a las características de su conexión física, sino a la potencia del computador empleado, tipo de dispositivos de interacción empleados, o software utilizado para acceder al CVE.
- La plena efectividad del CVE se logra cuando el usuario tienen la sensación de que el entorno radica en su propio computador, y que éste responde de forma inmediata al efecto de sus acciones sobre el mismo. Es decir, cuando la metáfora presenta un comportamiento *en tiempo real* [1]. Sin embargo, por tratarse de una interacción distribuida, lo que ocasiona latencias y retrasos, esta circunstancia jamás llega a producirse completamente.
- Los efectos de la interacción distribuida son especialmente preocupantes a la hora de emular las *acciones directas* entre los usuarios, como las *colisiones*. Es imposible calcular con precisión la colisión entre dos agentes del CVE ya que ningún participante dispone de información fiable sobre la posición del otro en un instante dado.

En definitiva, la necesidad de una interacción en tiempo real define los procesos y arquitectura del CVE. Existe un gran número de tareas concurrentes y, a diferencia de otros sistemas complejos, casi todas ellas tienen exigencia de inmediatez para lograr una experiencia satisfactoria. Se trata de una premisa ineludible a la hora de abordar el diseño conceptual del entorno. En el caso que nos ocupa, las decisiones técnicas tomadas en este ámbito han sido las siguientes:

1. La transmisión de información a través de Internet se lleva a cabo mediante una *discretización* de la misma en pequeños paquetes que son enviados a través de la red. Para que esta comunicación sea eficaz, es necesario utilizar

un protocolo, un conjunto de reglas que los participantes han de utilizar para comunicarse entre sí. Uno de los más populares, el denominado **Internet Protocol** (IP), garantiza que los paquetes viajen correctamente entre una fuente y un destinatario unívocamente identificados por una dirección, independientemente del medio de transmisión [3].

Teniendo en cuenta las decisiones tomadas en cuanto al motor gráfico y arquitectura de la aplicación CVE, basada en la Web, se ha empleado el protocolo **TCP** (Transmisión Control Protocol) sobre IP (conocido popularmente como TCP/IP), uno de los más comunes hoy en día. Se trata de un sistema de reglas fiable que garantiza la transmisión de los datos gracias a un avanzado sistema de verificación y retransmisión, y con una semántica que mantiene el correcto orden de envío de paquetes. La fiabilidad del protocolo ha fundamentado la decisión tomada frente a otras posibilidades más rápidas, como **UDP** (User Datagram Protocol). Teniendo en cuenta el número de usuarios, reducidos al ámbito de la actividad académica, y los requisitos que impone el mantenimiento de la congruencia entre los participantes en el CVE, se ha sacrificado la velocidad por la eficacia.

2. La elección del protocolo y la naturaleza de los envíos de información acarrea, de forma implícita, la arquitectura elegida para el entorno CVE. La conexión tipo punto-a-punto limita el empleo del protocolo TCP/IP con un número de usuarios muy elevado, ya que es difícil establecer y mantener conexiones entre cada par de usuarios. Para evitar este problema, se adopta una topología en la que uno de los computadores actúa como *servidor*, y el otro, denominado *cliente*, establece una conexión TCP/IP con el servidor. Éste actúa como gestor centralizado del CVE, recibiendo datos procedentes de cada cliente y enviándolos de nuevo, tras el procesamiento conveniente, al resto de usuarios.

En general, la existencia de un servidor ralentiza el intercambio de información, aunque también puede aprovecharse la centralización en la recepción de datos para limitar las zonas de reparto de los paquetes, o comprimirlos en mensajes más cortos. De todos modos, es la arquitectura preferida siempre que haya algún tipo de tarea a desarrollar que afecte al conjunto de participantes, puesto que permite desenvolver las funciones de la unidad de proceso del CVE, accesibles en este caso a través de un lenguaje de programación como PHP, para acometer dichas tareas. Numerosas funcionalidades del entrenador de percepción espacial (gestión del tiempo empleado por los participantes, monitorización de la actividad colaborativa, interface de inicialización del entorno) son posibles gracias a la adopción de este modelo.

A la hora de abordar la implementación del CVE, se ha elegido el servidor Web **Apache** (capaz de suministrar servicios HTTP), una de las aplicaciones de dominio público que más éxito ha tenido en el mundo de Internet, debido a la potencia que ofrece, la facilidad de instalación y mantenimiento, y el soporte técnico que sustenta una numerosa comunidad de usuarios.

6. Gestión de la información en tiempo real en el CVE

Ya ha quedado de manifiesto las dificultades que entraña conseguir que los participantes en el CVE tengan una sensación de realidad efectiva. Singhal [13] ilustra esta cuestión afirmando que *“Es imposible compartir un mundo virtual dinámico que cambia frecuentemente y garantizar simultáneamente que todos los usuarios acceden a versiones idénticas de ese mundo”*. Su enunciado recuerda las fuertes restricciones que la mecánica cuántica impone en la naturaleza a través del Principio de

Indeterminación de Heisenberg. El retraso que imponen los canales de comunicación a la hora de transmitir las actualizaciones que en el CVE se producen, está en el origen de la pérdida de consistencia entre los usuarios. Si dicha renovación se produce con frecuencia, no se puede garantizar que todos los clientes hayan recibido las actualizaciones anteriores a la última realizada.

La comprobación de este axioma, que impide aplicar en toda su extensión el concepto de “multiusuario” al CVE al imposibilitar la sensación de un escenario realista, lleva a la adopción de una serie de procedimientos para minimizar o evitar este efecto que han de ser tenidos en cuenta a la hora de abordar el diseño conceptual del entorno:

- *Emplear repositorios de datos centralizados* que aseguren que todos los participantes tienen una visión homogénea del entorno. Para ello es preciso almacenar todas las variables compartidas del CVE, de modo que los clientes lean la información sobre el estado del entorno en el repositorio. La existencia de una estructura cliente-servidor potencia la elección de esta solución. En la actualidad se simula en memoria un sistema de archivos distribuido, lo que permite llevar a cabo operaciones de lectura/escritura sobre el estado compartido del CVE a gran velocidad [3].

La forma más sencilla de implementar esta propuesta consiste en el empleo de una base de datos. En el CVE propuesto, se emplea MySQL para almacenar el estado compartido del entorno, gestionando la unidad de procesamiento las conexiones y consultas de los usuarios al servidor de la base de datos. De ese modo, no sólo se almacenan dinámicamente la posición, orientación y variables de estado de todos los avatares, sino que también es posible llevar a cabo un registro de los datos generados por cuantas actividades sean precisas (gestión de usuarios, inicialización del entorno, etc).

- Una filosofía completamente divergente a ésta consiste en predecir el estado del CVE en función de los datos locales existentes en cada momento, de modo que posibilite una reducción sustancial de la frecuencia de actualización del mismo. Esta técnica, conocida como *Dead Reckoning*, y de gran utilidad en entornos muy populosos, sacrifica la precisión del estado compartido para conseguir una reducción del tráfico de mensajes que permita incrementar el número de participantes simultáneos [13].
- Una tercera solución consiste en *incrementar la frecuencia de refresco* de la actualización del CVE. Los usuarios envían completa información sobre su estado a intervalos regulares a todos los participantes en el entorno, sin asegurarse la fiabilidad de la transmisión ni recibir paquetes de confirmación. Es una técnica con aplicaciones en simulaciones dinámicas de gran precisión, como las realizadas en medicina o ingeniería.

7. Gestión Remota del CVE

Otra ventaja que acarrea la adopción de una estructura cliente-servidor es la de permitir la *inicialización y gestión del CVE desde interfaces Web sencillas* accesibles al docente. La centralización en el servidor del repositorio de datos facilita un único punto de acceso a toda la información gestionada en el CVE. Además, la integración entre las tecnologías de dominio público empleadas (servidor Web, motor gráfico y base de datos) posibilitan la generación de formularios Web que permiten consultas a la base de datos, obteniendo su reflejo inmediato en la visualización gráfica de la metáfora.

Las funciones encomendadas al interface Web de **Lab3D** permiten la inicialización del entorno, acometer tareas administrativas y monitorizar tanto resultados como estadísticas. Estas características, que distinguen al entrenador de percepción espacial de otras iniciativas similares, crean un escenario atractivo para el docente, capaz de modificar el aspecto y las prestaciones de la herramienta sin necesidad de poseer conocimientos avanzados sobre el tema.

8. Conclusiones

Las nuevas tecnologías de Realidad Virtual aplicadas a la docencia permiten la elaboración de herramientas más eficaces para el adiestramiento de la percepción espacial, sacando ventaja de la participación en un entorno colaborativo y minimizando el esfuerzo de creación y gestión por parte de los docentes. El empleo de tecnologías OpenSource sin recurrir a dispositivos sofisticados reduce notablemente la inversión a realizar, por lo que el ratio eficacia-coste se eleva significativamente.

9. Referencias

- [1] C. Bouras et al., "Aspects of a Collaborative Learning Environments using Distributed Virtual Environments", ED-MEDIA 2001, pp. 173-178, Finlandia
- [2] E. F. Churchill, D. N. Snowdon, A. J. Munro, "Collaborative Virtual Environments: Digital Places and Spaces for Interaction". Springer Verlag, 2001
- [3] S. Diehl, "Distributed Virtual Worlds", Springer Verlag, 2001
- [4] Ann Eisenberg, "An Educational Program for Paper Sculpture: a Case Study in the Design of Software to Enhance Children's Spatial Cognition", Tesis Doctoral. Universidad de Colorado (EE.UU.).
- [5] Especificación PHP (<http://www.php.net>)
- [6] Especificación VRML (<http://www.web3d.org/technicalinfo/specifications/>)
- [7] W. E. Mack, "Computer.aided Design Training and spatial visualization ability in gifted adolescents", Journal of Technologies Studies, 21(2), pp. 57-53, 1995.
- [8] H. McLellan, "Cognitive Issues in Virtual Reality", Journal of Visual Literacy, 18(2), pp. 175-199, 1998.
- [9] James Mohler, "Using Interactive Multimedia Technologies to Improve Student Understanding of Spatially-dependent Engineering concepts", Actas del International Graphicon Conference on Computer Geometry and Graphics, Nizhny Novgorod, Rusia, 2001
- [10] C. Newlin, "The Total Concept of Graphics and Design in the Engineering Curriculum", Engineering Design Graphics Journal, 43(2), pp. 21-22, 1979.
- [11] J. Pellegrino, D. Alderton, V. Shute, "Understanding Spatial ability", Educational Psychologist 19, pp. 239-253, 1983
- [12] Rebecca Robichaux, "Predictors of Spatial Visualization: Structural Equations Modeling Test of Background Variables", Journal of Integrative Psychology, 2(3), 2002
- [13] S. Singhal, M. Zyda, "Networking Virtual Environments", Addison-Wesley Pub., 1999
- [14] J. Suárez Quirós, R. P. García Díaz, P. I. Álvarez Peñín, R. Gallego Santos, "Nuevas Tecnologías en la Enseñanza Virtual a través de la Red: Gráficos por Computador en el Campus Virtual de AulaNET". Actas XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica (Santander), 2002.
- [15] J. Suárez Quirós, R. P. García Díaz, "Un Standard Gráfico para Internet: el Lenguaje VRML", Actas IX Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica (Bilbao), 1997.
- [16] J. Suárez Quirós, "Gráficos por Computador", ISBN: 84-688-1648-5 Universidad de Oviedo, 2003
- [17] E. Wiebe, "Visualization of Three-dimensional Form: A Discussion of Theoretical Models of Internal Representation", Engineering Design Graphics Journal, 57(1), pp. 18-28, 1993.