

## LA PERCEPCIÓN DEL ESPACIO EN LA VISUALIZACIÓN DE ARQUITECTURA MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA

### SPACE PERCEPTION IN ARCHITECTURAL VISUALIZATION THROUGH IMMERSIVE VIRTUAL REALITY

*Luis Hernández, Javier Taibo, Antonio Seoane, Alberto Jaspe*



La realidad virtual inmersiva constituye una herramienta poderosa para la exploración vívida del espacio virtual. La sensación de presencia que provoca en el usuario la capacidad de observar el entorno digital dirigiendo su mirada en cualquier dirección se ve potenciada grandemente si se le añade la posibilidad real de caminar físicamente por él. En este artículo se describen aspectos relacionados con la experimentación de este espacio híbrido entre los dos mundos, implementado por los autores en la instalación museística de realidad virtual inmersiva y transitable denominada "El Museo Vacío".

**Palabras clave:** Realidad Virtual.  
Inmersión. Espacio Híbrido

*Immersive virtual reality constitutes a powerful tool for the vivid exploration of virtual spaces. The feeling of presence produced in the user by the action of seeing the digital space just pointing the view in any direction is greatly enhanced when adding the capability of walking physically during the experience. This paper describes aspects related with the experimentation of this hybrid space, real and virtual at the same time, that was implemented by the authors in an immersive virtual reality museum installation called "The Empty Museum".*

**Keywords:** *Virtual Reality. Immersion. Hybrid Space*



## Percepción del espacio y entornos de realidad virtual

La forma en que los humanos percibimos el espacio que nos rodea tiene múltiples facetas enraizadas en la psicología de la percepción. La comprensión del entorno involucra factores que van desde la fisiología de la visión hasta cuestiones de tipo social y cultural. Inicialmente podría definirse este proceso como aquel que hace consciente a la persona de la posición relativa de su propio cuerpo respecto a las cosas que lo rodean y sus relaciones respecto a estas en términos de distancias, tamaños y orientación, todo ello necesario para permitir el desplazamiento del sujeto en su entorno (Fieandt et al., 2007).

Las principales señales que utiliza el individuo para llevar a cabo este proceso son las relativas a la medida de la distancia y la profundidad. Estas señales provienen tanto de estímulos sensoriales como la visión o el oído como de su procesamiento mental, de tipo gestáltico, que hace que por ejemplo, dos objetos idénticos, situados a diferente distancia se entiendan como iguales a pesar de tener tamaños diferentes en la imagen visual.

Aunque en una primera aproximación pudiera pensarse que los estímulos necesarios para la percepción del espacio provienen exclusivamente de la visión, un análisis más detallado implica que existen otras señales que complementan poderosamente los estímulos visuales. Estas señales provienen de los sentidos cinestésico, encargado de la sensación de movimiento; vestibular, responsable del equilibrio; auditivo y en general de cualquier fuente de estímulo que propicie la sensación del propio cuerpo respecto al entorno. Las características del propio

cuerpo en términos métricos tales como el tamaño, la altura de visión, la velocidad al caminar, etc. se constituyen como marco de referencia y patrón de medida para la apreciación de distancias, posiciones de objetos, etc., tanto bajo un punto de vista cuantitativo de obtención de medidas reales, como cualitativo en su consideración subjetiva: cerca, lejos, grande, pequeño. Este marco de referencia cambia con la edad y evolución personal del individuo, de manera que un mismo espacio, que podía parecer muy grande en la niñez, se aprecie sorprendentemente pequeño cuando se vuelve al cabo de los años, o una habitación que pudiera parecer espaciosa en la juventud se antoja pequeña tras acostumbrarse a vivir en una mucho mayor.

Las dos pistas principales para la comprensión del espacio son en cualquier caso la percepción de la distancia y la profundidad. La adquisición de estos datos, se realiza como se ha dicho mediante varios sentidos, a través de los cuales se obtienen a un nivel perceptivo diferentes medidas que son cruzadas y relacionadas hasta extraer la información relevante. Algunas de estas medidas derivan directamente del funcionamiento del ojo, tales como el enfoque (acomodación) o la convergencia ocular, (modificación del ángulo formado por la direcciones de visión de cada ojo según el objeto esté próximo o lejano)(Ogle, 1950). Otra de las medidas a obtener, posiblemente la más influyente, es la paralaje, que puede obtenerse con el sujeto estático, gracias a la visión binocular, resultado del proceso cognitivo de comparación de las dos imágenes diferentes que llegan al cerebro procedentes de cada ojo. La visión binocular es especialmente útil para la percepción de distancias en el entorno más próximo al

## Space perception and virtual reality environments

The way we humans perceive the space that surrounds us has many aspects rooted in the psychology of the perception. The understanding of the environment involves factors ranging from vision physiology to cultural and social aspects. We could define this process as that which makes a person conscious of the relative position of his or her own body regarding surrounding objects and the relations to them in terms of distance, size and orientation, necessary to allow him to move in his environment (Fieandt et al., 2007).

In order to perform this process, the individual mainly uses signals related to the measurement of distance and depth. These signals come from both sensory stimuli, such as vision or hearing, as well as from their gestalt mental processing that, for example, makes two identical objects located at different distances be understood as identical in spite of having different sizes in the visual field. Although at first glance one might think that the necessary stimuli for the perception of space are obtained exclusively through vision, a more detailed analysis implies that there are other signals that strongly complement the visual stimuli. These signals come from the kinesthetic sense, responsible for the sensation of movement, vestibular sense, responsible for balance, hearing, and, in general, from any source of stimulus that helps us sense our own body in relation to the environment. The characteristics of our body in metric terms, such as size, eye height, walking speed, etc. constitute the frame of reference and standard for the assessment of distances, position of objects, etc., both under a quantitative point of view for obtaining real measures, and a qualitative point of view for subjective considerations: near, far, big, small. This frame of reference changes with age and the individual's personal evolution, so that the same space, that had seemed very large in childhood, might appear surprisingly small when returned to after many years, or a room that had previously seemed spacious in youth might appear to be a lot smaller after getting used to living in a much larger one. In any case, the two main clues for understanding space are the perception of

distance and depth. As previously stated, this data is acquired through various sensorial channels that, at a perceptive level, render different measures that are cross-linked to extract relevant information. Some of these measures derive directly from the eye, such as focus (accommodation) or ocular convergence (modification in the angle between the lines of sight of both eyes as the object gets nearer or farther) (Ogle, 1950). Parallax is another measure to consider, possibly the most influential, which, thanks to binocular vision, may be obtained while static, resulting from the cognitive process of comparing the two different images that reach the brain from each eye. Binocular vision is particularly useful for the perception of distances in the environment closest to the individual, its effect being increasingly subtle and less intense as they are evaluated over longer distances, in which case the assessment of parallax through movement becomes more important, by comparing different images of the object in time, especially if the subject is aware of the motion, which happens to a greater extent if the movement has been carried out by the person's own means, using data that is familiar and well settled in the individual's consciousness, as is the distance advanced in every step taken, more than if the movement is caused by external means, such as when travelling by vehicle.

Motion parallax is especially helpful for judging distances when using a single eye (monocular vision) or when the same image is exposed to both eyes (as in monoscopic virtual reality devices).

There are other factors that influence the perception of distance, such as the change in the shade of the colors with the distance, the presence of parallel lines converging to enhance the perspective, or the bluish shade that colors very distant objects due to atmosphere. This effect also causes a reduction in the contrast, saturation and sharpness of the outlines of distant objects, which reinforces our perception of the distance.

In the field of computer graphics, perception of space requires introducing the concept of immersion provided by virtual reality. Although it is possible to *describe* space by way of simulated movement around virtual models on a computer screen, the sense of *presence* in space requires the viewer to feel inside it, surrounded,

individuo, siendo su efecto cada vez más sutil y menos potente a medida que se evalúan distancias mayores, en cuyo caso adquiere más importancia la apreciación de la paralaje gracias al movimiento, mediante la comparación de distintas imágenes del objeto en el tiempo, especialmente si el sujeto es consciente del desplazamiento realizado, lo cual sucede en mayor grado si ese movimiento ha sido llevado a cabo por sus propios medios, utilizando datos familiares y bien asentados en la conciencia del individuo, como la distancia avanzada en cada paso, que si el desplazamiento se produce por medios externos, como en un vehículo.

La paralaje por movimiento es especialmente útil para juzgar las distancias cuando se utiliza un único ojo (visión monocular) o cuando sobre ambos ojos se expone la misma imagen (como en los dispositivos de realidad virtual monoscópicos).

Existen otros factores que influyen en la percepción de las distancias, como la variación en el tono de los colores con la lejanía, la presencia de líneas paralelas convergentes que refuerzan la perspectiva, o el tono azulado con que los objetos muy alejados se ven tintados por causa de la atmósfera. Este efecto también produce una reducción en el contraste, la saturación y la nitidez de los contornos de los objetos lejanos, lo cual supone un refuerzo de la percepción de la distancia.

En el ámbito de los gráficos por computador, la percepción del espacio requiere la introducción del concepto de inmersión que proporciona la realidad virtual. Aunque es posible *describir* el espacio a través de la simulación de recorridos en los modelos virtuales en la pantalla de un computador, la sensación de *presencia* en el espacio requiere que el espectador se sienta dentro de

él, envuelto, inmerso. Existen varias maneras de aproximar esta sensación: por un lado se encuentran los sistemas basados en cubrir todo el campo visual del usuario para una posición corporal dada como sucede en los sistemas de proyección en pantallas cilíndricas como los Reality Center®, esféricas, como las bóvedas eLumens®, o en los sistemas CAVE® reforzando en casos la sensación de espacialidad con el uso de proyección estereoscópica. La segunda vía para obtener la inmersión es dotar al usuario de un casco de realidad virtual (*Head Mounted Display* o HMD) que muestra la visión del modelo delante de los ojos del usuario en función de la orientación de la cabeza liberando al espectador de la limitación de mirar sólo en la dirección de la pantalla o pantallas de proyección.

Sin embargo, para la adecuada percepción del espacio virtual, al igual que sucede con el real, uno de los aspectos más importantes es el que tiene que ver con la reproducción de la paralaje. Como se ha dicho, la paralaje puede ser percibida estéticamente, a través de la visión binocular, aunque su efecto por esta vía se reduce drásticamente con la distancia de los objetos observados como sucede en los espacios arquitectónicos amplios y los entornos exteriores; la otra fuente de paralaje, de mayor influencia en estos casos proviene del movimiento del usuario.

Los primeros experimentos en estos temas fueron realizados por Henry y Furness (Henry and Furness, 1993), que analizaron y compararon la relación entre la manera en que la gente percibe los espacios reales y virtuales. Veinticuatro arquitectos exploraron una galería de un museo real o un modelo generado por computador en tiempo real, con diferentes niveles de inmersión (un monitor, un HMD fijo



y un HMD con seguimiento de su orientación). Se les pidió que realizaran tareas de métrica espacial, orientación y otras evaluaciones. Los resultados más significativos indicaron que los arquitectos subestimaban sistemáticamente las dimensiones de la galería en las tres simulaciones por computador, siendo mayores las diferencias en las condiciones más inmersivas. Experimentos posteriores realizados por Loomis *et al.* confirmaron que la distancia se subestima sistemáticamente en entornos de realidad virtual usando un HMD en condiciones estáticas (Loomis and Knapp, 2003). Thompson *et al.* Determinaron que la calidad del *render*, aún en entornos fotorrealistas, no mejora esa percepción (Thompson *et al.*, 2004). La falta de paralaje por movimiento fue resaltada por esos autores como un factor crítico para la correcta evaluación de la distancia.

Así pues, la sensación de inmersión y la vividez del espacio virtual puede ser reforzada si se permite al usuario desplazarse por el modelo. La mayor parte de los sistemas de simulación permiten dicho desplazamiento dotando al usuario de un modo de control de su posición, tal como un mando que al ser activado inicia el movimiento en una dirección dada. Aunque de esta forma es posible recorrer virtualmente un entorno, no resulta una forma natural de moverse para el espectador, que debe hacer uso de metáforas mentales para asumir este desplazamiento parecido al movimiento en un vehículo o a una forma externa de propulsión, dada la ausencia de sensaciones cinestésicas asociadas al movimiento a las que está acostumbrado. En otras palabras, el usuario en estos sistemas es movido, en lugar de moverse él mismo.

La acción de la exploración del espacio requiere un ritmo personal de mo-

vimiento muy distinto al del viaje en un vehículo. En la exploración de una catedral o un museo, el espectador lleva a cabo un ritmo de pausas, cambios de velocidad, aceleraciones, cambios de dirección, posición y orientación de la mirada, movimientos laterales o hacia atrás extremadamente difíciles de emular ágilmente con un dispositivo tal como un joystick, especialmente si el movimiento artificial se reduce a dos modos: parado y movimiento adelante o atrás a velocidad o aceleración constante, generalmente con un tránsito brusco entre ambos estados como sucede en la mayoría de los sistemas. Realizar tareas muy sencillas como mirar hacia un punto, alinearse con una trayectoria recta o girar en una curva determinada se convierte en una operación nada trivial en estas condiciones (Loomis, 2002).

La mejor forma de reproducir el movimiento natural del usuario es dejar que éste lo efectúe de manera real, sintiendo todas las sensaciones cinestésicas asociadas. Para ello es necesario dotarle de un sistema de realidad virtual que pueda llevar consigo. Durante los últimos años varios de estos sistemas han sido desarrollados (Höllerer *et al.*, 1999, Stricker *et al.*, 2001), algunos de ellos están diseñados para su uso en exteriores mediante la captura de la posición del usuario por GPS, que aunque poco preciso, puede resultar suficiente para grandes espacios tales como entornos urbanos. También existen sistemas experimentales transitables de realidad virtual diseñados para su uso en interior, requiriendo una mucha mayor precisión en la ubicación del usuario y con la limitación de que el área en la que el espectador puede caminar se ve reducida a la zona de seguimiento de la habitación en que se halla. Este pro-

immerged. There are several ways to approximate this feeling: on one side there are systems based on covering the user's entire field of vision for a given body position, as is the case of cylindrical screen-projection systems such as Reality Center®, spherical ones, like eLumens' VisionDome®, or in CAVE® systems which reinforce the sense of spaciousness with the use of stereoscopic projection. The second way of obtaining sense of immersion is to provide the user with a virtual reality helmet (*Head Mounted Display* or HMD) that displays the view of the model before the user's eyes in accordance to the orientation of his head, freeing the viewer from the limitation of having to look only in the direction of the projection screen or screens. However, for the proper perception of virtual space, as it occurs with real space, one of the most important aspects is that which has to do with the reproduction of parallax. As previously mentioned, parallax can be perceived statically through binocular vision, although its effect in this way is dramatically reduced by distance to the observed objects, as in large architectural spaces or outdoor environments; the other source of parallax, of greater influence in these cases, comes from the user's movement. The first experiments on these issues were made by Henry and Furness (Henry and Furness, 1993), which analyzed and compared the relationship between the way people perceive real and virtual spaces. Twenty-four architects explored a real museum gallery or a computer generated model in real time, with different levels of immersion (a monitor, a fixed HMD and an HMD with orientation tracking). They were asked to perform tasks of spatial measurements, orientation and other assessments. The most significant results indicated that architects consistently underestimated the size of the gallery in the three computer simulations, the differences being greater in the more immersive conditions. Further experiments performed by Loomis *et al.* confirmed that the distance is systematically underestimated in virtual reality environments using an HMD in static conditions (Loomis and Knapp, 2003). Thompson *et al.* determined that render quality, even in photorealistic environments, still does not improve that perception (Thompson *et al.*, 2004). The lack of motion parallax was highlighted by these authors as a critical factor for correct evaluation of the distance.

Thus, the sense of immersion and the vividness of the virtual space can be enhanced if you allow the user to navigate through the model. Most simulation systems allow such movement by giving the user a way to change his position, as a control that, when activated, initiates the movement in a given direction. Although this way you are able to virtually move around an environment, the viewer does not perceive it as a natural way of moving, and must make use of mental metaphors to assume this movement as if travelling by vehicle or by some externally powered propulsion, given the absence of the accustomed kinesthetic sensations associated with movement. In other words, users in these systems are moved, instead of moving around by themselves.

The action of exploring space requires a personal rhythm of movement very different from the one experienced when travelling by vehicle. When exploring a cathedral or museum, the viewer performs pauses, changes of speed, accelerations, changes of direction, position and orientation of the gaze, lateral or backward movements extremely difficult to smoothly be emulated using a device such as a joystick, especially if the artificial movement is reduced to two modes: stationary and moving forward or backward to constant speed or acceleration, usually with an abrupt transition between both stages as occurs in most systems. In these conditions, very simple tasks like looking towards a point, moving along a straight line or turning on a given curve become very difficult (Loomis, 2002).

The best way of reproducing the natural movement is to allow the user to really move around, feeling all the associated kinesthetic sensations. This requires giving him a virtual reality system that can be carried around. In recent years several of these systems have been developed (Höllerer et al., 1999, Stricker et al., 2001); some of them are designed for outdoor use by capturing the user's position by GPS, which although inaccurate, may be sufficient for large spaces such as urban environments. There are also experimental walk around virtual reality systems designed for indoor use, requiring greater precision in the location of the user and with the limitation that the area in which the viewer can walk around is reduced to the monitored area in the room it is in. This problem, however, can be solved through different strategies, as discussed later on. The Empty Museum is one of these, as we next describe.

blema, sin embargo puede ser solventado a través de diferentes estrategias, como se verá más adelante. El Museo Vacío es uno de estos últimos, que se describirá a continuación.

## El Museo Vacío. Caminando en espacios digitales

### Espacio Híbrido

El equipo autor de este artículo ha desarrollado un entorno de RV inmersivo transitable inalámbrico que ha sido aplicado en la visualización de múltiples tipos de contenidos, entre los que se hallan varios ejemplos de visualización arquitectónica. El estudio de la manera en que los usuarios de la instalación interactúan con el espacio virtual que les rodea ha dado origen a estas líneas.

Por la capacidad de esta instalación de mostrar contenidos virtuales dentro de un espacio real y su aplicabilidad al ámbito expositivo se eligió como nombre para la misma "Museo Vacío".

El Museo Vacío es por tanto una instalación de realidad virtual inmersiva transitable e inalámbrica que permite a uno o varios usuarios moverse libremente en un espacio en el que se presentan elementos virtuales que los rodean y con los que pueden interactuar (Hernandez et al., 2003). Ello es posible gracias a un subsistema de seguimiento y control, denominado "base", que controla la posición de los visitantes en el espacio real/virtual y a otro subsistema, denominado satélite, que se encarga de la generación de imágenes que el espectador transporta, consistente en una mochila con un ordenador portátil y un HMD operado por baterías. La instalación se implementa en una sala en la que se controla la posición de los satélites desde la base.

La experiencia espacial en el Museo Vacío es de una gran vividez. El usuario experimenta el espacio de una doble manera. Por un lado siente que el espacio es aquel que conoce y sabe que le rodea en ese instante, un área real en la que es consciente de estar. Por otro lado, el usuario está viendo objetos virtuales a su alrededor a través de su HMD y en cuanto comienza a caminar, nota cómo su desplazamiento en el espacio real se manifiesta de manera perfectamente coherente en el espacio virtual, aproximándose a los objetos, rodeándolos, visionando proyecciones que flotan en el aire, interactuando con objetos o escuchando sonidos que emanan de diferentes puntos hasta llegar a un momento en que asocia su desplazamiento pura y exclusivamente a un movimiento en el espacio virtual.

De esta manera, el espacio virtual, (no los objetos insertos en él), es tan genuino como el espacio real, dado que posee sus mismas propiedades, compartiendo ambos unas mismas dimensiones en torno al usuario. Hablamos entonces de un *espacio híbrido* que contiene y comparte el espacio real y el virtual y que se convierte en parte de la interfaz al alojar ciertas zonas que activan eventos ante la presencia del usuario o al entrar en su campo de visión.

Aunque el "área transitable" del Museo Vacío está limitada por el alcance del sistema de seguimiento, el espacio mostrado puede extenderse mucho más allá. Los elementos interactivos se insertan en el espacio transitado que queda además limitado en el espacio virtual por elementos también virtuales que disuaden al espectador de salir fuera del área de control, tales como muros, árboles, características del pavimento, ausencia de "suelo virtual" más allá de la zona de paseo, etc.



Esta instalación ha estado expuesta al público en la exposición Galicia Dixital, en Santiago de Compostela, durante varios años en los que se han desarrollado diversos contenidos interactivos tanto para la exploración de interiores arquitectónicos como de otros contenidos culturales y lúdicos. A lo largo de este tiempo decenas de miles de visitantes han experimentado estos entornos virtuales.

### Otras formas de movimiento en los mundos virtuales

Aunque este espacio híbrido queda limitado por el área transitable del Museo Vacío, es posible experimentar a través de él áreas más extensas que la que encierra físicamente la instalación. Para ello se han experimentado tres métodos de “desplazamiento natural aumentado”, que posibilitan la expansión del área visitable del mundo virtual:

- Escalado del movimiento del usuario. Aunque es posible magnificar el movimiento del visitante, haciendole así dar “pasos de gigante” no ha resultado ser una experiencia natural para los usuarios. Durante las pruebas han indicado que se trataba de un movimiento antinatural e incluso molesto, especialmente cuando se desplazan en una dirección y miran en otra diferente.
- Teletransporte. Se han realizado varios contenidos con mundos virtuales en los que una zona del Museo Vacío contenía un cilindro virtual (cabina de teletransporte) en el que el usuario entraba para verse instantáneamente ubicado en otro espacio virtual. Sorprendentemente, esta transición sí resultó sencilla de usar, intuitiva y natural para los visitantes. Un ejemplo de su uso consistió en una galería virtual de pin-

tura (Hernández et al., 2002), en la que los usuarios atravesaban los marcos de los cuadros para adentrarse en versiones 3D de las pinturas. Para volver a la galería, solo tenían que entrar en la cámara de teletransporte presente en cada uno de los mundos pictóricos.

- Alfombra mágica: Combinando la instalación con un dispositivo de tipo ratón inalámbrico, el usuario puede desplazar el conjunto del espacio híbrido en cualquier dirección, p.e. en el interior de un gran edificio, deteniéndose en la zona deseada y caminando por ella.

### Multiusuario. Visitantes reales y habitantes virtuales

El Museo Vacío está diseñado para soportar la presencia simultánea de varias personas. A fin de evitar choques entre ellas, en el mundo virtual los usuarios aparecen representados en forma de avatares que siguen el comportamiento de los usuarios que representan en cuanto a posición, orientación y pose de la cabeza.

La instalación puede alojar también personajes virtuales animados, que no corresponden en este caso con ningún usuario sino que son manejados por un programa informático.

### Ejemplos de aplicación

Varios ejemplos se implementaron en la instalación. Uno de los más significativos desde el punto de vista arquitectónico consiste en una reproducción del interior de la Catedral de Santiago de Compostela. Se trata de un modelo de la Catedral románica original del siglo XIII. Este ejemplo explota una de las grandes ventajas de la arquitectura virtual, el poder visualizar y experimentar el espacio en cons-

## The Empty Museum. Walking through digital spaces

### Hybrid Space

The author team of this paper has developed a wireless walkable VR environment that has been applied in the visualization of multiple kinds of contents, and among them there are several ones about architectonic visualization. The study of the way users interact with the virtual surrounding space has been the origin of these lines. Because of the ability of this installation in showing virtual contents inside a real space and its applicability to the exhibition field, it was called “Empty Museum”.

The Empty Museum is therefore a virtual reality immersive, walkable and wireless system that allows one or more users free movement along a space, where some virtual elements surround them and also interact with them (Hernández et al., 2003). This is possible thanks to a tracking and control subsystem, called “base”, that manages the position of visitors in the real/virtual space, and to other subsystem, called “satellite”, carried by the user that is able to render real-time images. It consists in a backpack with a laptop and a HMD inside, all operated by batteries. The installation is implemented in a room, where satellite positions are controlled by the base.

The spatial experience in the Empty Museum is greatly vivid. The user experiences the space in two different manners. On one side, he feels that space is the one he knows and that it is surrounding him in that moment, a real area where he is aware of being. On the other hand, the user is viewing virtual objects around him through his HMD, and as he walks, he feels how his displacement in the real space manifest perfectly consistent with virtual space, getting closer to the objects, surrounding them, viewing projections that float in the air, or hearing sounds emanating from different points. At this point, the user associates his own movement exclusively to a movement in the virtual space.

Thus, the virtual space (not the objects embedded in it) is as genuine as the real space, since it has the same properties, both sharing the same dimensions around the user. So, we speak about a “hybrid space” that contains and shares the virtual and real spaces, and that becomes the interface to the system, as it contains certain

**1. Reconstrucción de la Catedral de Santiago de Compostela en el siglo XIII.**

**1. Reconstruction of the Saint James Cathedral in the XIII century.**

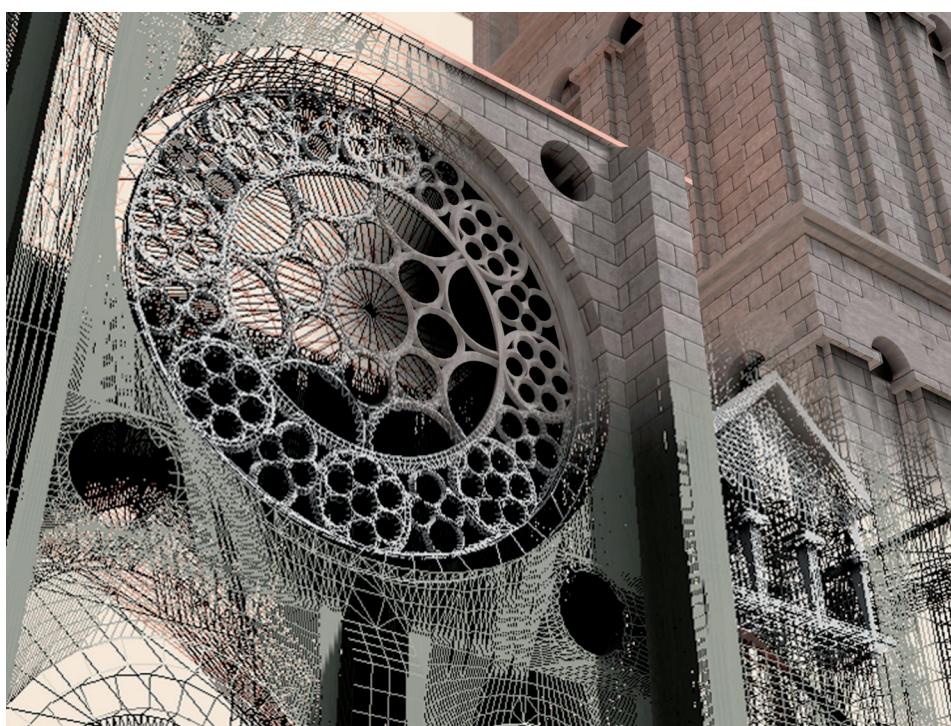
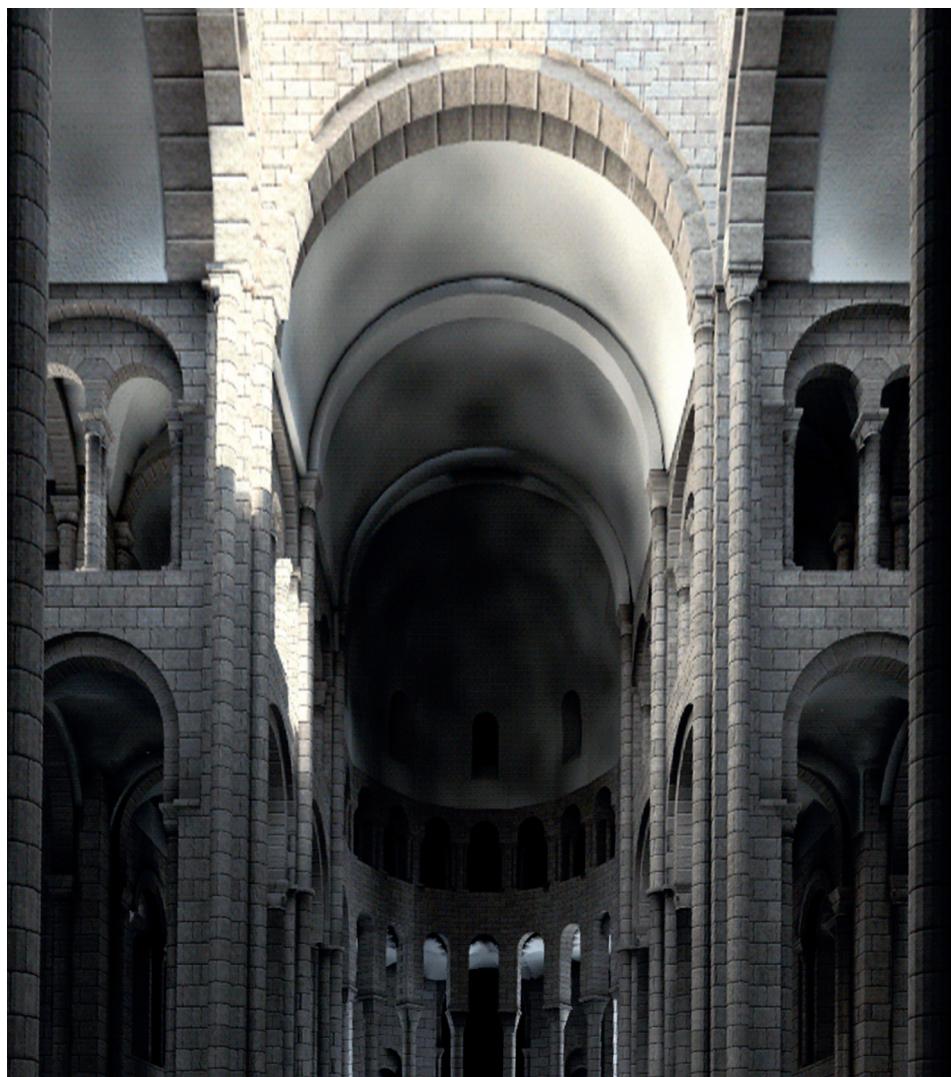
areas that trigger events in the presence of the user, or when they enter in his field of view. Although the walkable area of the Empty Museum is limited by the bounds of the tracking system, the shown space may be extended much further. The interactive elements are inserted into the walkable space that is also limited in the virtual space by virtual elements that dissuade the visitor from leaving the control area out, such as walls, trees, pavement characteristics, lack of virtual ground beyond the walking area, etc.

This installation has been publicly exposed in Galicia Dixital exhibition in Santiago de Compostela for several years, while a great variety of interactive contents had been developed for the exploration of architectural interiors and other cultural and entertainment content. During that time tens of thousands of visitors have experienced these virtual environments.

#### **Other methods of movement in virtual worlds**

Although this hybrid space is limited by the walkable area of the Empty Museum, it is possible to experience through it larger areas than the one that physically enclose the installation, by experimenting with three methods of "augmented natural movement", which enable the expansion of the viewable area of the virtual world.

- Scaling the user movement. Although it is possible to magnify the movement of the visitor, making him giving "giant steps", this way has proven not to be a natural experience for the users. During the tests they have complained about it as uncomfortable and even annoying.
- Teleport. Several contents have been developed inside virtual worlds with virtual cylinders (teleport cabins) inside, in which user could enter to be instantly located on another virtual space. Surprisingly, this way of virtual displacement got good results as the users found it natural and intuitive. An example of its use was implemented in a virtual art gallery (Hernández et al., 2002), where visitors could go through the frame of the paintings, and explore a recreation of a 3D version of the painting. In order to get back to the gallery, they just had to go into the teleport cabin present in each of the pictorial worlds.





trucciones que ya no existen en la realidad, con calidad fotorrealista.

Otra de las ventajas de la arquitectura virtual es la posibilidad de construir elementos imposibles en la realidad, por cuestiones físicas. Un ejemplo de esto es la Galería de las Artes de Galicia, un espacio de exposición virtual desarrollado sobre el Museo Vacío que ubica diferentes ejemplos de obras realizadas por artistas gallegos en un entorno arquitectónico diseñado a tal efecto sin las restricciones habituales de una construcción real.

Por último, uno de los ejemplos más interesantes del Museo Vacío, aplica la visualización de arquitectura virtual al campo de la arqueología en la reconstrucción de una parte del Castro de San Cibrán de Las, ubicado en la provincia de Ourense. Este ejemplo consiste en una reconstrucción virtual, genuina y rigurosamente precisa desde el punto de vista arqueológico, de una unidad habitacional típica del asentamiento prerromano de San Cibrán de Las. De esta forma se cubre una doble función de difusión al público en general y estudio por parte de los especialistas, de la vida

doméstica en la cultura castrense. Esta reconstrucción no sólo abarca la arquitectura sino también otros elementos materiales de la cultura e incluso la población, a través de personajes virtuales.

La reconstrucción virtual se realizó en torno a la cocina, puesto que se trata del espacio de gran importancia arqueológica por la abundancia de fragmentos de cultura material hallados, dado que allí se realizaban la mayoría de las actividades sociales. Además del modelo interior y exterior de la cocina, se construyó el modelo exterior de las zonas que la rodean: almacenes, dormitorios, establos. Esta simulación no se limitó a la mera reconstrucción arquitectónica, sino que se incluyeron elementos de la cultura material perfectamente ubicados en su contexto y poniendo especial atención en la funcionalidad de dichos elementos que se pretendía ilustrar en el Museo Vacío con ayuda de los personajes virtuales que habitaban la vivienda y empleaban los utensilios de la manera adecuada.

La metodología utilizada se integra en una corriente arqueológica denominada Arqueología de la Arquitectu-

**2. Galería de las Artes de Galicia. Entorno expositivo virtual multiusuario.**

**2. Arts of Galicia Gallery. Multiuser virtual exhibition environment.**

- Magic carpet. Adding to the above description of the installation a device such a wireless mouse, users can displace the set of virtual and real space, the hybrid space, in any direction. For instance, inside a large building, they could move it to the desired area and stop there to walk and experience this precise place.

#### **Multiuser. Real visitors and virtual inhabitants**

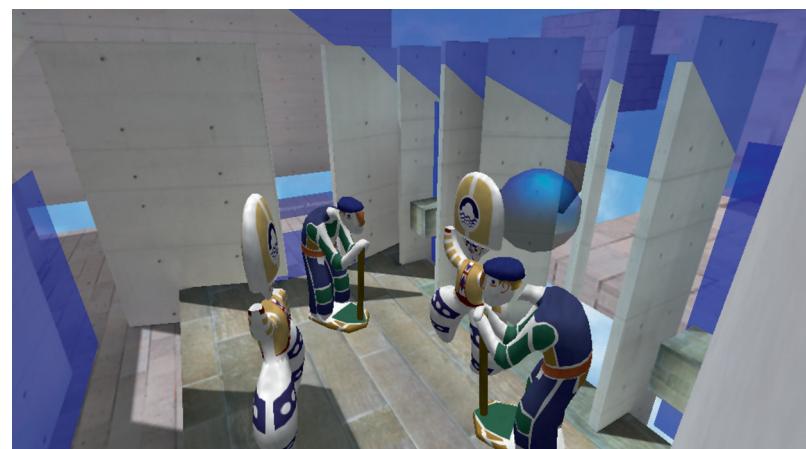
The Empty Museum is designed to support simultaneously the presence of several users. To avoid crashes among them, users are represented in the virtual worlds with avatars that match their behavior in position, orientation and head pose.

The installation also supports animated, software driven virtual characters.

#### **Examples of application**

One of the most significant examples from the architectural point of view is the reconstruction of the interior of the Saint James Cathedral. This is a model of the original Romanesque Cathedral of the XIII century. This example uses one of the great advantages of virtual architecture, the power to view and experiment the space in buildings that no longer exists actually, with photorealistic quality.

Other advantage of virtual architecture is the possibility of creating physically impossible



3. Reconstrucción de una vivienda del Castro de San Cibrán de Las. Recreación de la sensación de presencia en el espacio virtual.

3. Reconstruction of a housing unit in the settlement of San Cibrán de Las.



elements. An example of this is the Arts of Galicia Gallery, a virtual exhibition space built on the Empty Museum that contains different examples of works created by Galician artists in an architectural environment designed for this purpose without the usual constraints of a real building.

Finally, one of the most interesting examples of the Empty Museum, applies the virtual architectural visualization to the archeology field in the reconstruction of part of the settlement of San Cibrán of Las, located in the province of Ourense. This example is a virtual reconstruction, genuine and strictly accurate from the archaeological point of view of a typical housing unit in the preromanesque settlement of San Cibrán of Las. This will cover the dual function of communication to the general public and study by experts of domestic life of settlement's culture. This reconstruction includes not only architecture but also other material elements of culture and even the population, through virtual characters.

The virtual reconstruction was built around the kitchen, since it is the archaeological area of great importance for the abundance of fragments of material culture found, since there is conducted the majority of social activities. In addition to the interior and exterior model of the kitchen, the surrounding areas model was created outside, including stores, bedrooms

ra o Arqueotectura (Ayán Vila, 2003), basada en el estudio arqueológico desde el análisis de construcciones históricas (Azkarate Garai-Olaun, 2002). Para maximizar el potencial de los restos arquitectónicos del asentamiento, se aplicó un modelo analítico, combinando la descripción formal de estructuras con la aplicación de nuevas técnicas y procedimientos desarrollados dentro de la Arqueología de la Arquitectura (Escribano Velasco and Caballero Zoreda, 1996): análisis de construcción, análisis formal y análisis sintáctico de los espacios (análisis *gamma*, análisis de circulación, análisis de visibilidad).

## Conclusiones

La tecnología de Realidad Virtual aplicada a la visualización de arquitectura, especialmente en entornos inmersivos transitables, posibilita nuevas formas de estudiar e interpretar construcciones antiguas, proyectos de construcción e incluso nuevos paradigmas de arquitectura virtual, liberándose de las restricciones físicas pre-

sentes en la arquitectura tradicional. El Museo Vacío es un ejemplo de este tipo de instalación, donde no sólo se dispone de una potente herramienta para el estudio integral de la arquitectura, sino que también se recrea la experiencia de la percepción del espacio en los entornos arquitectónicos.

La paralaje por desplazamiento (frente al binocular) resulta vital para la comprensión del espacio, especialmente en el caso de entornos amplios, como se da en la visualización de arquitectura. Los sistemas de Realidad Virtual no se han enfrentado tradicionalmente a este problema, por limitaciones de movimiento o porque

En este artículo se describe una instalación que permite implementar mecanismos de percepción del espacio a través de la paralaje por movimiento, que ha sido puesto en marcha con diversos ejemplos. Se ha investigado en las diferentes posibilidades de uso en situaciones en las que los requisitos de desplazamiento desbordan el área transitable de la instalación. Para ello se han propuesto diferentes metáforas de desplazamiento natural aumentado. ■



## Referencias

- AYÁN VILA, X. 2003. *Arquitectura como tecnología de construcción de la realidad social*, Universidad del País Vasco y CSIC.
- AZKARATE GARAI-OLAUN, A. 2002. Intereses cognoscitivos y praxis social en Arqueología de la Arquitectura. *Arqueología de la Arquitectura*, 55-71.
- ESCRIBANO VELASCO, C. & CABALLERO ZOREDA, L. 1996. *Arqueología de la arquitectura: El método arqueológico aplicado al proceso de estudio y de intervención en edificios históricos: Actas*, Junta de Castilla y León, Consejería de Educación y Cultura.
- FIEANDT, K., JÄRVINEN, E. & KORKALA, P. 2007. Space perception. *Encyclopaedia Britannica*.
- HENRY, D. & FURNESS, T. 1993. SPATIAL PERCEPTION IN VIRTUAL ENVIRONMENTS - EVALUATING AN ARCHITECTURAL APPLICATION. *ieee Virtual Reality Annual International Symposium*, 33-40.
- HERNANDEZ, L., TAIBO, J., SEOANE, A., LOPEZ, R., KUNII, T., SOON, S. & SOURIN, A. 2003. *The empty museum. multi-user interaction in an immersive and physically walkable VR space*.
- HERNÁNDEZ, L., TAIBO, J. & SEOANE, A. Year. Empty Museum: An Inquiry on Autonomous VR Systems and Hybrid Spaces. In: 2002 Guimarães. 1st Ibero-American Symposium in Computer Graphics SIACG 2002. University of Minho, School of Engineering.
- HÖLLERER, T., FEINER, S., TERAUCHI, T., RASHID, G. & HALLAWAY, D. 1999. Exploring MARS: Developing Indoor and Outdoor User Interfaces to a Mobile Augmented Reality System. *Computers & Graphics*, 23, 779—785.
- LOOMIS, J. M. 2002. Using immersive virtual reality to study visual space perception, visual control of locomotion, and visually-based navigation. *Journal of Vision*, 2.
- LOOMIS, J. M. & KNAPP, J. M. 2003. Visual perception of egocentric distance in real and virtual environments. In: HETTINGER, L. J. & HAAS, M. W. (eds.) *Virtual and Adaptive Environments*. CRC Press.
- OGLE, K. N. 1950. *Researches in binocular vision*, Saunders.
- STRICKER, D., DÄHNE, P., SEIBERT, F., CHRISTOU, I., ALMEIDA, L. & IOANNIDIS, N. Year. Design and Development Issues for ARCHEOGUIDE: An Augmented Reality-based Cultural Heritage On-site Guide. In, 2001 Mykonos. Eurolmage ICAV 3D Conference in Augmented Virtual Environments and Three-dimensional Imaging.
- THOMPSON, W. B., WILLEMSSEN, P., GOOCH, A. A., CREEM-REGEHR, S. H., LOOMIS, J. M. & BEALL, A. C. 2004. Does the quality of the computer graphics matter when judging distances in visually immersive environments? *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 13, 560-571.

and barns. This simulation is not merely the architectural reconstruction, but also included elements of material culture perfectly placed in context and paying attention on the functionality that was intended to illustrate in the Empty Museum with the help of virtual characters that live in the house and tools used properly. The methodology is integrated into a archeological field named Archeology of the Architecture or Archeotecture (Ayán Vila, 2003), based on the archeological study from the analysis of historical buildings (Azkarate Garai-Olaun, 2002). To maximize the potential of the architectonical remains of the settlement, we applied an analytical model, combining the formal description of structures with the application of new techniques and procedures developed in the Archeology of the Architecture (Escribano Velasco and Caballero Zoreda, 1996): construction analysis, formal analysis and syntactic analysis of the spaces (*gamma* analysis, circulation analysis, visibility analysis).

## Conclusiones

Virtual Reality technology applied to architectural visualization, especially in transitable immersive environments, allow new ways of study and interpretation of antique buildings, constructive projects and even new paradigms of virtual architecture, freeing from the physical restrictions present in traditional architecture. The Empty Museum is an example of this kind of installation, which not only provides a powerful tool to the integral study of architecture, but also recreates the experience of space perception in architectural spaces. Motion parallax (versus binocular) results vital to the understanding of space, especially in the case of wide environments, as in architectural visualization. Traditionally, Virtual Reality systems have no faced to this problem, because of movement restrictions or other reasons. In this paper we described an installation that allows implementing mechanisms of space perception through motion parallax, which has been proven with several examples. We have researched different usage possibilities in situations where displacement requirements overrun the transitable area of the installation. For this reason, we proposed different metaphors for augmented natural displacement. ■

## References

- AYÁN VILA, X. 2003. *Arquitectura como tecnología de construcción de la realidad social*, Universidad del País Vasco y CSIC.
- AZKARATE GARAI-OLAUN, A. 2002. Intereses cognoscitivos y praxis social en Arqueología de la Arquitectura. *Arqueología de la Arquitectura*, 55-71.
- ESCRIBANO VELASCO, C. & CABALLERO ZOREDA, L. 1996. *Arqueología de la arquitectura: El método arqueológico aplicado al proceso de estudio y de intervención en edificios históricos: Actas*, Junta de Castilla y León, Consejería de Educación y Cultura.
- FIEANDT, K., JÄRVINEN, E. & KORKALA, P. 2007. Space perception. *Encyclopaedia Britannica*.
- HENRY, D. & FURNESS, T. 1993. SPATIAL PERCEPTION IN VIRTUAL ENVIRONMENTS - EVALUATING AN ARCHITECTURAL APPLICATION. *ieee Virtual Reality Annual International Symposium*, 33-40.
- HERNANDEZ, L., TAIBO, J., SEOANE, A., LOPEZ, R., KUNII, T., SOON, S. & SOURIN, A. 2003. *The empty museum. multi-user interaction in an immersive and physically walkable VR space*.
- HERNÁNDEZ, L., TAIBO, J. & SEOANE, A. Year. Empty Museum: An Inquiry on Autonomous VR Systems and Hybrid Spaces. In: 2002 Guimarães. 1st Ibero-American Symposium in Computer Graphics SIACG 2002. University of Minho, School of Engineering.
- HÖLLERER, T., FEINER, S., TERAUCHI, T., RASHID, G. & HALLAWAY, D. 1999. Exploring MARS: Developing Indoor and Outdoor User Interfaces to a Mobile Augmented Reality System. *Computers & Graphics*, 23, 779-785.
- LOOMIS, J. M. 2002. Using immersive virtual reality to study visual space perception, visual control of locomotion, and visually-based navigation. *Journal of Vision*, 2.
- LOOMIS, J. M. & KNAPP, J. M. 2003. Visual perception of egocentric distance in real and virtual environments. In: HETTINGER, L. J. & HAAS, M. W. (eds.) *Virtual and Adaptive Environments*. CRC Press.
- OGLE, K. N. 1950. *Researches in binocular vision*, Saunders.
- STRICKER, D., DÄHNE, P., SEIBERT, F., CHRISTOU, I., ALMEIDA, L. & IOANNIDIS, N. Year. Design and Development Issues for ARCHEOGUIDE: An Augmented Reality-based Cultural Heritage On-site Guide. In, 2001 Mykonos. Eurolmage ICAV 3D Conference in Augmented Virtual Environments and Three-dimensional Imaging.
- THOMPSON, W. B., WILLEMSSEN, P., GOOCH, A. A., CREEM-REGEHR, S. H., LOOMIS, J. M. & BEALL, A. C. 2004. Does the quality of the computer graphics matter when judging distances in visually immersive environments? *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 13, 560-571.