

El museo abre sus puertas a la experiencia sensorial

POR **BASILIO PUEO Y MANUEL SÁNCHEZ CID**

En este artículo se propone el uso de pantallas audiovisuales que combinan sistemas de audio envolvente y vídeo vanguardistas para crear entornos inmersivos de alto realismo en museos. Esta experiencia sensorial puede ser la característica distintiva del museo que le permita llegar a un público más extenso.

Los museos son una de las instituciones culturales al servicio de la sociedad más valoradas por la ciudadanía. Su principal objetivo es la custodia, conservación y exhibición de contenidos de valor cultural, histórico o científico que forman colecciones. En la actualidad, los museos han evolucionado de meras galerías a establecimientos complejos, que tienen como objetivo divulgar la cultura por medios que atraigan a un número elevado de visitantes.

En este objetivo legítimo de aumentar el número de visitantes -y, por tanto, la repercusión del museo y la difusión cultural de sus exposiciones- son cada vez más los directores de museo y museólogos que apuestan por la introducción de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para enriquecer la experiencia del visitante. Desde hace varias décadas, se ha vivido un proceso tecnológico sin precedentes por el cual los sistemas digitales de computación han abaratado su coste y tamaño, desembocando por tanto en la democratización de su uso. Como destaca De Vicente (2011), las repercusiones en el campo de las artes plásticas han sido definitivas para su distribución masiva por diferentes medios.

Objetivos

Sin embargo, los museos no han sabido adaptarse al vertiginoso ritmo del desarrollo tecnológico, sino que de forma tímida han tratado de satisfacer a una sociedad basada en la comunicación audiovisual que conoce y disfruta ampliamente de pantallas de entretenimiento, como pueden ser televisores planos de alta definición, cámaras de vídeo y fotográficas o bien ordenadores ubicuos en forma de teléfono o tableta (Leonardo, 2011). Así pues, del amplio espectro de servicios que el desarrollo tecnológico ofrece en la actualidad,

la mayoría de los museos se limitan a instalar máquinas para ayudar a los usuarios a orientarse (Santacana y Martín, 2010) o las relegan a salas especiales de visionado audiovisual con poco aliciente para el público general (Carrozzino y Bergamasco, 2010). No todos ellos siguen esta pauta. Los museos de ciencia y técnica, así como los museos de los niños, han incorporado sistemas audiovisuales verdaderamente innovadores para dar sentido a la temática del museo o bien para cautivar a un público tan poco estereotipado como lo es el infantil.

En este artículo se propone el uso de sistemas audiovisuales de alta inmersión sensorial en museos que los alejen del museo tradicional de tipo panteón. El objetivo no es únicamente el de modernizar estas instituciones para mantener la alta percepción de vehículos culturales que se tiene de ellos, sino también de crear espacios verdaderamente nuevos, denominados híbridos por García Cantero (2011), que están más allá del concepto del museo clásico, a los que la ciudadanía desee acudir porque les brinden la oportunidad de nuevos y distintos estímulos sensoriales.

Existen diversas experiencias en la misma línea, como la de Otero y Flores (2011), quienes reflexionan acerca de la capacidad pedagógica y transmisora de conocimientos en museos que emplean sistemas de visualización inmersiva e interactiva.

Para ello, en primer lugar se realiza un repaso de las distintas técnicas de audio y vídeo actuales que permiten implementar sistemas con diferentes grados de inmersión sensorial. Esta exposición permite afrontar con éxito el estudio de lo que, en opinión de los autores, son los dos grandes grupos de aproximaciones a la inmersión audiovisual en general y, en particular, para los museos a través de pantallas audiovisuales.

En cada categoría se describen críticamente las aplicaciones a las que dan lugar para la museología y se citan ejemplos de museos y salas especializadas que los aplican con éxito. A partir de este marco comparativo, los autores detectan las carencias de las aplicaciones actuales -fundamentalmente en estímulos sonoros- y proponen la inclusión de valor añadido para satisfacer las necesidades de los museos de próxima generación. Con ellos, el visitante podrá vivir experiencias difícilmente alcanzables por otra vía, mediante inmersión visual y sonora que evoca sensaciones de realidad en un espacio público de divulgación cultural.

Tecnologías de inmersión audiovisual

Tratamiento de la imagen

Existen diversas técnicas para dotar de sensación de espacialidad al usuario, con mayor o menor grado de inmersión, dependiendo fundamentalmente de la complejidad tecnológica de la propuesta. En este apartado se describirán de forma estructurada las técnicas para estimular la visión y el sonido.

Los seres humanos, al igual que la mayoría de los mamíferos, poseemos la capacidad de la visión binocular, por la cual el cerebro crea una imagen tridimensional a partir de dos imágenes de una misma escena con puntos de vista diferentes recogidos por los ojos, que se encuentran ligeramente separados horizontalmente. La zona en la que se tiene visión por los

dos ojos simultáneamente es procesada por el cerebro para determinar la profundidad de los objetos de la escena. A partir de este proceso de visión, se pueden generar dos técnicas de imágenes artificiales. Por un lado, imágenes en dos dimensiones que no incluyen elementos de profundidad y que, por tanto, no estimulan el sistema de visión estereoscópica. Ejemplos de ello son la fotografía o la imagen de televisión estándar, en los que la débil ilusión de profundidad viene dada por el conjunto de objetos cotidianos que aparecen en la imagen y que el cerebro recuerda para, mediante su tamaño y líneas de fuga, situarlos tentativamente en profundidad. La segunda aproximación se da en sistemas de visión estereoscópica o 3D (Armenteros, 2011). En este caso, se dota a cada ojo por separado de una imagen ligeramente distinta con los atributos adecuados para que el cerebro la decodifique como si se tratara de la misma imagen percibida en un ambiente real, creando de forma natural la sensación tridimensional. Para conseguir imágenes distintas en cada ojo, se muestran a la vez dos imágenes tintadas de un color, normalmente azul y rojo, y se observan con unas gafas también tintadas en las que se producirá la síntesis binocular. Esta técnica, llamada anaglífica, tiene el inconveniente de que los filtros en las gafas hacen perder mucha luminosidad y no se acaba de conseguir una reconstrucción fidedigna en color de la imagen en 3D.

Otro método 3D consiste en mostrar las dos imágenes a la vez con distinta polarización [1] y dotar de nuevo al usuario de gafas que discriminen entre las dos polarizaciones. Existe otro método similar en el que, en lugar de mostrar las dos imágenes simultáneamente, se exponen alternativamente y a gran velocidad las dos imágenes. Cada espectador lleva unas gafas con un obturador electrónico que, de forma sincronizada con la pantalla, hace que las lentes sean transparentes u opacas, en función de la imagen que se está proyectando. Finalmente, si en lugar de mostrar una pantalla para una audiencia numerosa, se genera únicamente para un usuario, es posible dotar de imágenes distintas solo con situar dos pequeñas pantallas electrónicas en gafas. Esta solución, aunque conceptualmente es la más sencilla de todas las anteriores, es por otro lado la más costosa y la que menos interés puede tener para audiencias, siendo relegada a aplicaciones de realidad virtual (Fernández, 2000).

Pantallas específicas

Estas técnicas de visión se materializan a partir de soportes físicos para imágenes estáticas o mediante pantallas, que además contemplan la visión de imágenes dinámicas. Existen dos tipos de pantallas. Por un lado las pantallas de proyección -ya sea delantera o trasera-, en las que entran en juego una superficie reflectante o traslúcida, respectivamente, y un proyector de vídeo. Este tipo de pantallas tiene la ventaja de la escalabilidad: se pueden proyectar imágenes desde tamaños moderados hasta muy elevados, con la consiguiente cobertura de audiencia. El segundo tipo de pantalla es la electrónica, cuyas tecnologías evolucionan rápidamente. En la actualidad, los dos sistemas más extendidos son las pantallas de cristal líquido LCD y LED. Para el objetivo de este artículo, la diferencia entre las dos tecnologías es irrelevante; sin embargo, la resolución de la pantalla sí es un parámetro a tener en cuenta en dispositivos electrónicos. La resolución indica el número de elementos de información en una pantalla y, por tanto, determina la distancia mínima a la que se podrá estar de ella antes de que se perciba como una imagen sin calidad (pixelada), perdiéndose el efecto que se pretendía crear.

Tratamiento del sonido

Una vez descritas técnicas y aplicaciones para la imagen, pasamos a tratar el sonido en sus dos mismas vertientes. Al igual que ocurre con la imagen, los seres humanos disponemos de dos oídos, lo cual nos permite la escucha binaural, es decir, la capacidad de discriminar sonidos que vienen en distintas direcciones. De nuevo, existen sistemas que tratan de estimular esa capacidad de forma más o menos eficiente, que se describen a continuación. Cabe citar, fuera de clasificación, la aproximación conceptual más sencilla y en clara relación con los requerimientos de imagen: si para conseguir una imagen estereoscópica se necesitaba una imagen por ojo, para conseguir un sonido estéreo se necesita un sonido por oído. En este caso entran en juego otros factores, como por ejemplo las reflexiones del sonido en la sala o cómo se modifica el sonido por la forma y tamaño de nuestra cabeza y torso. No obstante, es una buena aproximación de partida para diseñar sistemas que se acerquen lo máximo posible a la escucha binaural real.

El primer elemento de la clasificación son los sistemas de sonido estándar, que pueden ser con un solo canal (monoaural), como la radio típica del despertador de mesilla, o con dos canales (estéreo), como un equipo *Hi-Fi* o los auriculares del reproductor de MP3. Evidentemente, un sonido mono no puede estimular la sensación tridimensional. Respecto al sonido estéreo, a pesar de que se dispone de dos altavoces con dos señales distintas, cuando la emisión llega a cada uno de los oídos, está fuertemente contaminada por la acústica de la sala donde se escucha. Además de ello, la sensación se limita a sonidos que se sitúen exclusivamente entre los dos altavoces y solo se produce para un punto centrado entre ellos, denominado *sweet spot*.

El siguiente grupo de técnicas son las llamadas de sonido envolvente multicanal. Entre ellas, el sistema más conocido es el sonido envolvente 5.1, que distribuye cinco altavoces [2] alrededor del punto de escucha y uno encargado de emitir las frecuencias muy graves. Este sistema es relativamente sencillo y su implementación es poco costosa para los beneficios de inmersión sonora que provee. Sin embargo, ni el estéreo ni el 5.1 reproducen el campo sonoro que pretenden simular, sino que generan más o menos canales alrededor de los oyentes para crear un efecto de dramatismo sonoro, típico de las producciones cinematográficas.

Los dos siguientes sistemas, por el contrario, tratan de recrear el ambiente sonoro con todos sus detalles y considerando fuentes de diversas procedencias. El primero es el denominado sonido ambisónico, que registra y guarda la información direccional del sonido para que sea reproducida por un número variable de altavoces (mínimo 4). Coulter (1998 y 1999) describe las primeras aplicaciones museísticas con este sistema para el Museo Powerhouse de Sydney, Australia. Una evolución del sonido ambisónico es el llamado *Wave Field Synthesis*, por el cual se rodea la zona de audiencia con un conjunto uniforme de altavoces que recrean la onda sonora desde un punto de vista físico, es decir, tal y como se generaría en un ambiente real. Esa onda interactúa con la sala y con los oyentes del mismo modo que lo haría la onda real y, por tanto, se reproducen en los oídos exactamente los mismos mecanismos que activan la audición binaural, incluidos todos los efectos como difracción, reflexión o absorción.

Estos sistemas de sonido se implementan con altavoces, que pueden ser de tipo

convencional o altavoces planos. Los altavoces convencionales son conos circulares que necesitan de un soporte que contenga la radiación trasera de la membrana (caja acústica) y sus ondas son directivas. Por el contrario, los altavoces planos no requieren parte trasera o, al menos, que sea de menor dimensión y sus ondas no tienen dirección preponderante sino que se esparcen homogéneamente en el espacio. Este término se conoce como omnidireccional. Los sistemas de altavoces planos más extendidos son los altavoces de modos distribuidos o de multiactuadores (en inglés DML y MAP, respectivamente), según el panel tenga alojado un solo altavoz o varios.

Del estudio de los distintos sistemas de imagen y sonido expuestos, así como de una revisión exhaustiva de las experiencias que han desarrollado museos y centros culturales en este sentido, los autores proponen dos categorías de pantallas en museos, que se describen a continuación.

Pantallas de tamaño moderado: ventanas de interactividad

Este primer grupo engloba aplicaciones para museos cuya finalidad sea la interactividad y, por tanto, el tamaño de la pantalla sea moderado para una correcta interacción. En todas las instalaciones que se presentan, la interacción se produce entre una y dos personas con el dispositivo, cuyo tamaño impide la instalación de sistemas de sonido multicanal. Por tanto, para este grupo de aplicaciones, las pantallas usadas son electrónicas o de proyección y los sistemas de sonido monofónicos.

Realidad aumentada interactiva

En este sistema se da una visión directa o indirecta de un objeto real y se combina con elementos virtuales, generados electrónicamente a través de una pantalla, para la creación de una realidad mixta en tiempo real (Deligiannidis y Jacob, 2005). La interactividad se produce cuando el usuario puede interactuar con los contenidos generados electrónicamente, lo cual enriquece enormemente su experiencia de visita.

En el Museo de Historia Natural de Londres [3], la exposición *¿Quién crees que eres en realidad?* lleva al visitante a través de nuestro pasado evolutivo mediante realidad aumentada. Cada visitante disfruta de una pantalla portátil con la que interactúa con el documental en la que se muestran especies primitivas de humanos (ver figura 1). Según Marimón y otros (2010), los teléfonos móviles actuales son capaces de sustituir a estos dispositivos mediante una aplicación al efecto. El proyecto ha recibido el Premio 2011 a la enseñanza mediante pantallas por la excelencia en el uso de la imagen y los contenidos multimedia para la enseñanza y la investigación [4].

Figura 1. Pantalla portátil interactiva del Museo de Historia Natural de Londres



Mesas multitáctiles

Las mesas interactivas o multitáctiles son dispositivos en los que una pantalla horizontal táctil de moderadas dimensiones actúa de interfaz entre múltiples usuarios. Mediante el tacto, gestos de la mano e incluso objetos físicos situados encima de la pantalla, varias personas al mismo tiempo pueden interactuar de un modo fácil e intuitivo con la información, contenidos y objetos pertenecientes a la colección que se muestra.

En el Museo Judío de Berlín [5] se presenta una mesa multitáctil con objetos físicos que ejemplifican tipos de comida y religiones para combinarlos y explorar los alimentos admitidos por las distintas tradiciones religiosas (ver figura 2).

Figura 2. Mesa multitáctil con objetos que representan comida en el Museo Judío de Berlín



En el museo Liliesleaf de Sudáfrica [6] se ha instalado una mesa interactiva que emplea cilindros metálicos con tecnología de movimiento Wii para activar los contenidos 3D y navegar por los vídeos, audio, imagen y textos. En la figura 3 se muestran imágenes de dos aplicaciones distintas con los objetos.

Figura 3. Mesa multitáctil con objetos dotados de sensores de movimiento en el Museo Liliesleaf de Sudáfrica



Habitaciones virtuales interactivas

Este tipo de dispositivo invita a los visitantes a explorar más allá de las cuatro paredes de las salas del museo en forma de ventana con estímulos tridimensionales. Para navegar por esta realidad simulada, los usuarios emplean sus manos con o sin contacto con la pantalla para explorar de manera intuitiva los ambientes tridimensionales que se evocan. La sala virtual del Museo de Melbourne (Australia) [7] es un ejemplo de habitaciones interactivas conectadas que forman un hexágono, como se muestra en la figura 4. Mediante ocho retroproyectores estereoscópicos, se crea la sensación de tridimensionalidad que pueden modificar los usuarios mediante dispositivos de seguimiento personales.

Figura 4. Habitaciones interactivas conectadas en el Museo de Melbourne

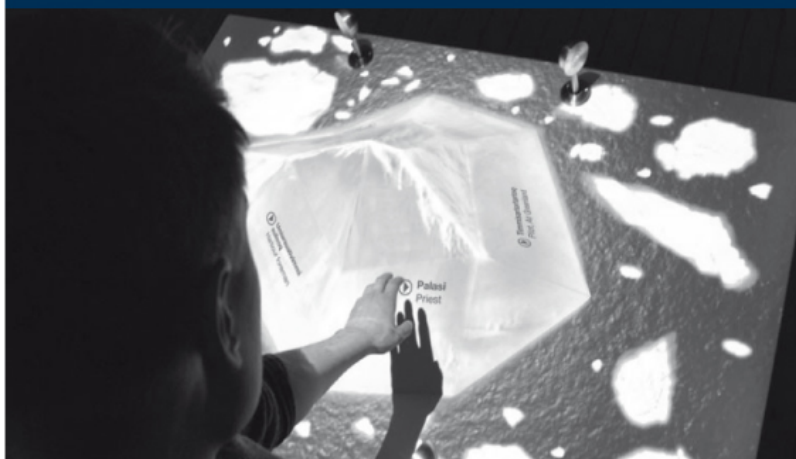


Objetos interactivos

Son objetos tridimensionales a los que se le ha añadido una interfaz de interactividad, bien sea por retroproyección o mediante una estructura geométrica de pantallas electrónicas. La interactividad sobre una superficie irregular puede, por ejemplo, ilustrar la evolución de un paisaje en el que los elementos van cambiando su aspecto exterior. En la exhibición sobre el calentamiento global, de la Unesco, en el museo Lulissat (Groenlandia) [8], se encuentra un claro ejemplo de objeto interactivo. *Breaking Ice* es un iceberg interactivo multitáctil que responde con mensajes relacionados con el deshielo de los casquetes polares cuando se selecciona de modo táctil distintos mensajes y palabras clave. En la figura 5 se observa a un usuario interactuando con la superficie del iceberg.

En la actualidad, la tecnología permite incluir interactividad a niveles hasta nunca antes vistos por medio de dispositivos al alcance del presupuesto de muchos museos y centros culturales. La última aportación a los entornos interactivos que combinan realidad y gráficos virtuales, con gran repercusión potencial en museos, viene del accesorio Kinect de Microsoft, que incluye un conjunto de sensores de movimiento inalámbricos. En un proyecto desarrollado por Molyneaux y otros (2012), se emplea una combinación del detector de movimientos y un proyector sobre una pantalla para usar cualquier superficie como si fuera un espacio sobre la que dibujar de forma virtual. La aplicación mantiene en su memoria qué se dibujó en cada lugar concreto del espacio e incluso qué elementos virtuales existen - creados o no por el usuario- y los muestra cuando se proyectan los objetos sobre las distintas zonas; por ejemplo, una habitación, en una combinación realista de objetos reales y virtuales.

Figura 5. Iceberg como objeto interactivo del Museo Lulissat en Groenlandia



Pantallas de gran tamaño: inmersión audiovisual colectiva

En el segundo grupo se enmarcan aplicaciones para museos cuyo objetivo sea la inmersión audiovisual de un número elevado de visitantes, dotándoles de estímulos visuales y aurales que refuercen el mensaje cultural. Según Mora (2009), las emociones y valores que integran un sistema de comunicación inmersiva se transmiten más eficientemente que por sistemas convencionales. Para este grupo de aplicaciones, las imágenes se proyectan o retroproyectan con múltiples fuentes y el sonido es multicanal, bien en forma de 5.1 o de sistemas más avanzados.

Pantallas planas

Las pantallas planas pueden formar un escenario como el de un cine, en el que los visitantes están sentados en sus butacas con elementos de inmersión audiovisual como los que se han descrito al inicio, o bien pueden formar una figura geométrica dentro de la cual es posible moverse libremente para observar en detalle algún elemento de la exhibición. Estas pantallas poseen una resolución, brillo y superficie de exhibición que supera ampliamente la experiencia inmersiva que se puede conseguir con pantallas que no estimulen la visión periférica. En algunos casos, como describen Hernández y otros (2004), en un ejemplo específico de sala al efecto, la proyección se puede dar también sobre el suelo para que los usuarios caminen sobre ella, aumentando la sensación de inmersión. La proyección sobre el suelo por sí sola puede atraer a los participantes a lugares específicos del museo.

La exhibición *Una ventana a nuestro mundo* del Museo de Ulster (Irlanda) [9], contiene cuatro pantallas retroproyectadas por doce proyectores de alta definición con un sistema de sonido envolvente 5.1. Como se aprecia en la figura 6, las cuatro pantallas forman una estancia de imágenes dinámicas que envuelven a la audiencia y que enriquecen el mensaje de los objetos que se encuentran en una vitrina en el centro de la sala.

Figura 6. Cuatro pantallas planas crean la estancia inmersiva del Museo de Ulster



Pantallas semiesféricas de cúpula

Los contenidos audiovisuales se proyectan a través de un objetivo súper gran angular sobre una pantalla de grandes dimensiones que envuelve toda la sala. El espectador experimenta una sensación de inmersión total, ya que ocupa la totalidad de su campo de visión. Un conjunto denso de altavoces se encuentra detrás de la pantalla perforada con el fin de fusionar los estímulos de sonido y vídeo de gran realismo. El sistema comercial más extendido en museos de ciencias y tecnología es el IMAX para pantallas planas de grandes dimensiones y el OMNIMAX para pantallas semiesféricas, ambas capaces de exhibir contenidos 3D con la correspondiente actualización [10]. La mayoría de las pantallas semiesféricas se instalaron en planetarios durante los últimos cuarenta años y han ido actualizándose para aumentar el brillo, la resolución y otros factores técnicos, incluida la capacidad 3D (Jacobsen, 2011). Con objeto de cuantificar este tipo de pantallas en museos y normalizar sus especificaciones técnicas para la excelencia, se ha propuesto el programa DIGSS de Especificaciones de Pantallas Gigantes Inmersivas Digitales (Jacobsen, 2011). La especificación DIGSS permite que los directores de museos reflexionen sobre si la pantalla a instalar puede considerarse de calidad y cómo realizar la actualización de las pantallas existentes en el museo.

El Hemisférico, en el complejo de La Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia [11], es la sala más grande de España con capacidad para 300 personas, que alberga una pantalla semiesférica de 900 metros cuadrados de superficie y 24 metros de diámetro. En la figura 7 se muestra una proyección en la cúpula, mientras que para exhibiciones 3D se emplea una zona central de la pantalla de 12 x 6 metros. Desde que se instaló el sistema 3D en la pantalla en 2010, las atracciones en 3D han congregado la mitad de la audiencia total del hemisférico.

Figura 7. El Hemisférico de La Ciudad de las Artes y las Ciencias en Valencia es un ejemplo actual de pantalla semiesférica de grandes dimensiones



La inmersión sonora, asignatura pendiente de las pantallas audiovisuales

En los ejemplos descritos se puede observar que, por un lado, las pantallas de tamaño moderado están extendidas en la actividad museística con relativa profundidad. Por otro lado, en lo que concierne a pantallas de gran tamaño, existe una tendencia a aumentar su tamaño en la medida de lo posible para cubrir la mayor parte de cobertura visual humana. En los casos de pantallas semiesféricas, este objetivo se consigue para un número muy elevado de visitantes. No obstante, incluso en estos sistemas más avanzados de pantallas pequeñas y grandes, el sonido que acompaña a la exhibición no se ha abordado con la suficiente entidad, debido a que los requerimientos visuales se satisfacen con estímulos frontales, mientras que los sonoros requieren de una inmersión de mayor envergadura.

Por lo tanto, el tándem ideal para los museos futuros que promuevan una experiencia sensorial de alto realismo es conjugar este tipo de pantallas junto con un sistema de sonido multicanal inmersivo. De entre los que se describen al inicio, los autores proponen el uso de *Wave Field Synthesis*, por las ventajas distintivas que posee para las aplicaciones inmersivas en museos para un gran número de visitantes. En efecto, el ambiente sonoro se crea mediante un conjunto de altavoces para toda el área de audiencia, eliminando completamente el punto de escucha óptimo que solo disfrutaría un visitante.

En la figura 8 se puede observar el fundamento de la técnica: es posible situar un sonido (virtual) detrás de los altavoces (y por tanto, de la pantalla) a una cierta distancia y el sistema genera los sonidos necesarios que deben salir por cada uno de los altavoces para recrear el ambiente, de tal forma que todo el público cree fidedignamente que el sonido proviene efectivamente de donde se ha generado y no de los altavoces en sí. El sistema es escalable, puesto que se pueden incluir tantos sonidos virtuales tras los altavoces como la

exhibición requiera. Por ejemplo, los componentes del grupo musical pueden cambiar su disposición libremente por el escenario virtual mientras tocan, al igual que lo harían si se tratara de un concierto en directo. A estas características se suma su capacidad única de generar sonidos virtuales dentro de la propia sala de escucha, por lo que se puede crear un personaje virtual que esté situado justo enfrente o al lado de una persona del público y que vaya desplazándose durante la exposición por la audiencia para enfatizar aún más la sensación de inmersión total.

Figura 8. Wave Field Synthesis recrea el ambiente sonoro con tal realismo que no se distingue de la escena real



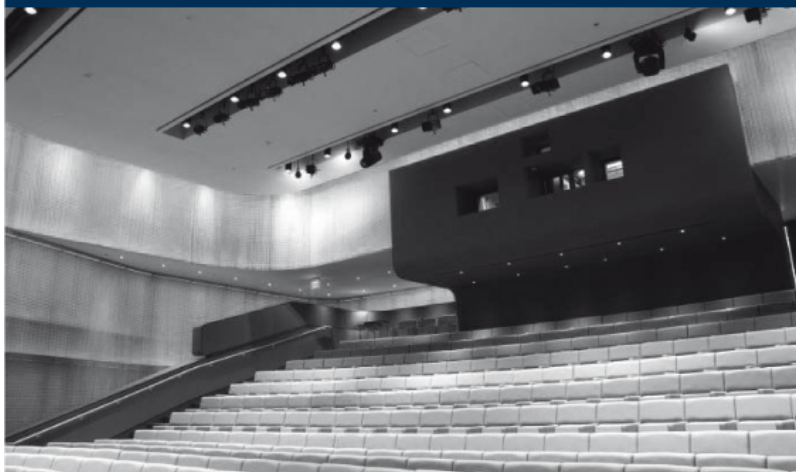
El proyecto VISION [12], del programa de investigación CENIT, es un ejemplo de aplicación exitosa de la técnica de *Wave Field Synthesis* en sistemas de comunicación de nueva generación. En él, 13 empresas y 12 organismos públicos de investigación, coordinados por Telefónica I+D, generan un dispositivo de videoconferencia inmersiva con una pantalla autoestereoscópica y captura de sonido y reproducción de sonido 3D mediante altavoces planos MAP, tanto para emisor como receptor, que permite tener una sensación de presencia de alto grado de realismo. Para consolidar este realismo, la interacción en la videoconferencia se efectúa mediante el control gestual, como el que propone Malerczyk (2004), ya que no se necesita emplear ningún dispositivo externo, sino solo nuestro cuerpo.

A nivel internacional existen ya en la actualidad algunas salas experimentales con el sistema *Wave Field Synthesis* y, de forma progresiva pero firme por su evidente potencial, algunos museos e instituciones culturales han comenzado a incluirlo como parte de sus instalaciones, lo cual se ha convertido en poco tiempo en el rasgo distintivo y la atracción principal de cada museo. A continuación se describen estas iniciativas de éxito para aplicaciones interactivas con pantallas pequeñas y para grandes exhibiciones audiovisuales.

Museo de la Tolerancia (Los Ángeles) [13]

La sala Peltz es un anfiteatro multimedia para 300 personas que cuenta con un equipo de sonido multicanal *Wave Field Synthesis* (ver figura 9). Dotado con proyectores de alta definición y capacidad de imagen 3D, la instalación muestra documentales relacionados con la misión de tolerancia de la institución.

Figura 9. Sala Peltz del Museo de la Tolerancia de Los Angeles



Planetario del Centro para Niños con Necesidades Especiales Shafallah (Qatar) [14]

El centro cuenta con una sala semiesférica de cúpula en alta definición con capacidad para 217 personas. Gracias a un sistema que sincroniza los distintos proyectores de imagen sobre la cúpula y la distribución de cientos de altavoces por toda ella, se produce una inmersión audiovisual completa 3D que estimula todo el campo de visión y genera sonidos tanto de las escenas exhibidas como de fuentes laterales, traseras y cenitales (360º) (ver figura 10).

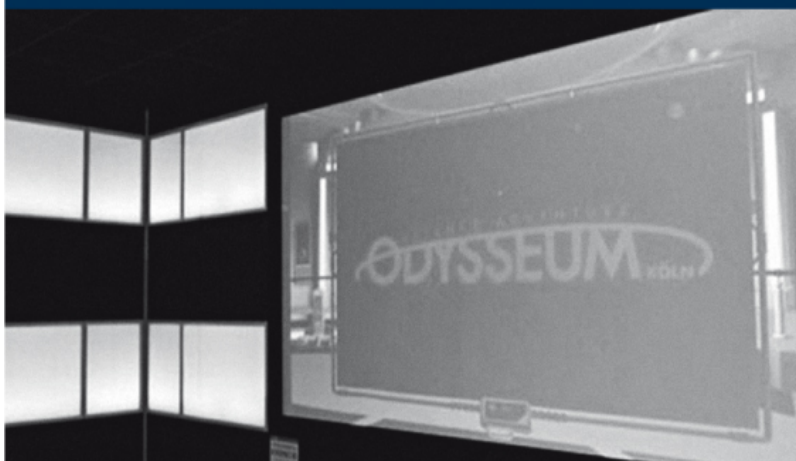
Figura 10. Planetario del Centro para Niños con Necesidades Especiales Shafallah (Qatar)



Parque Educativo de la Ciencia Odysseum (Alemania) [15]

Este centro combina educación y entretenimiento para que niños y adolescentes exploren el mundo de la ciencia a través de 200 pantallas interactivas, equipadas con sistemas de sonido inmersivo que enriquecen enormemente el proceso de aprendizaje (ver figura 11).

Figura 11. Una de las 200 pantallas interactivas del Parque Educativo de la Ciencia Odysseum (Alemania)



Laboratorio de Experiencia Multimedia Inmersiva del Mañana (Alemania) [16]

El laboratorio dispone de una pantalla curva de grandes dimensiones que crea un panorama inmersivo de 180° en el que el público cree estar en la acción que se desarrolla (ver figura 12). El sistema de sonido de 128 altavoces trabajando en *Wave Field Synthesis* se encarga de añadir y completar la inmersión audiovisual completa.

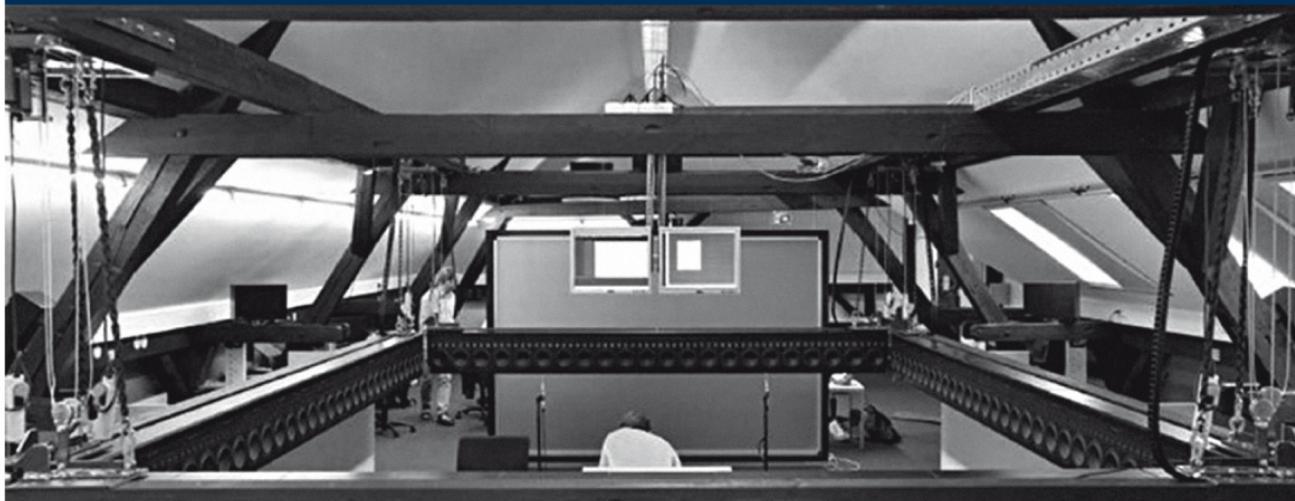
Figura 12. Panorama envolvente del laboratorio de Experiencia Multimedia Inmersiva del Mañana en Alemania



Laboratorio de Mundos Virtuales 3D (Alemania) [17]

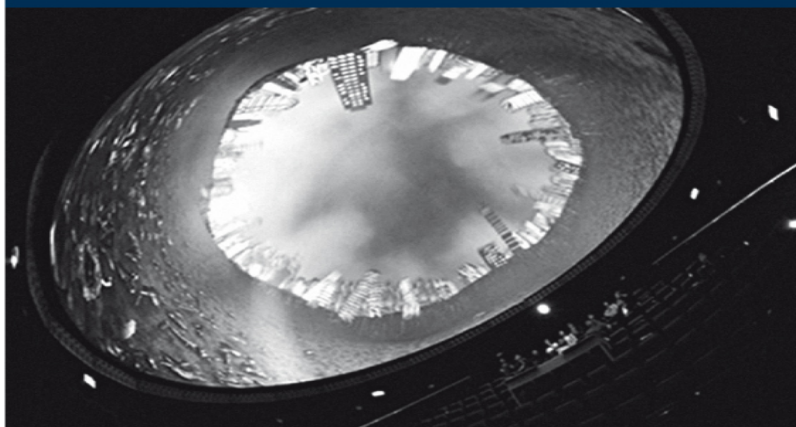
Este laboratorio, que se completó en julio de 2011, es un simulador de virtualidad para diversos campos educativos y científicos. Dispone de una pantalla retroproyectada en alta definición con capacidad 3D mediante estereoscopia por polarización. Alrededor de la pantalla, se distribuyen 420 altavoces creando un ambiente verdaderamente envolvente, tanto en los estímulos visuales como aurales (ver figura 13).

Figura 13. Laboratorio de Mundos Virtuales 3D, en el que se aprecia el conjunto de altavoces para *Wave Field Synthesis*



En la Exposición Universal de Zaragoza, se desarrolló la única instalación audiovisual en España que incluía el sistema de sonido *Wave Field Synthesis*. Concretamente, el pabellón español presentó una pantalla semiesférica con sistema completo de sonido 3D con más de 200 altavoces en la que se exhibía la obra *Hijos del agua*, que se concibió para el efecto con 374 pistas de música (ver figura 14).

Figura 14. Pantalla semiesférica del Pabellón Español de la Expo Zaragoza en el que se observan los altavoces formando una circunferencia alrededor de la pantalla semiesférica



Conclusiones

En este artículo se ha propuesto el uso de las pantallas audiovisuales para enriquecer la experiencia inmersiva de visitantes de museos y centros culturales y, de esa forma, transmitir más eficientemente sus contenidos de valor cultural, histórico o científico. Para que las pantallas supongan verdaderamente un estímulo ante una ciudadanía acostumbrada a una cultura audiovisual basada en la industria del entretenimiento y la ubicuidad de la tecnología que la hace posible, es necesario que las sensaciones que se perciban sean novedosas y de gran realismo.

A pesar de que los responsables de museos han realizado guiños a la tecnología audiovisual inmersiva en mayor o menor medida, no han abordado con la suficiente entidad la incorporación de virtualidad e inmersión en su programación de colecciones. Tras sentar las bases de las técnicas de audio y vídeo que permiten implementar los sistemas audiovisuales, los autores proponen dos grandes categorías: por un lado, pantallas de tamaño moderado que invitan a la interactividad con un grupo reducido de visitantes y, por otro lado, pantallas de gran superficie que estimulan los sentidos de la vista y el oído en toda su extensión, generando sensaciones de inmersión.

El estudio de los casos que ejemplifican cada una de estas categorías revela que, si bien el estímulo visual se encuentra en una fase de desarrollo muy avanzada, en la que disponemos de sistemas que estimulan nuestro sistema binocular con resultados bastante realistas (la película en 3D *Avatar* es un claro ejemplo de ello), no ocurre lo mismo con el sentido del oído, que se ha percibido históricamente como subordinado a la imagen. Por esta razón, los autores proponen el uso del sistema de sonido multicanal que mayor grado de inmersión genera, denominado *Wave Field Synthesis*, para enriquecer las exhibiciones actuales. El ambiente sonoro 3D se crea mediante un conjunto de altavoces para toda el área de audiencia de tal forma que los visitantes creen oír los sonidos que provienen de fuentes

situadas detrás de la pantalla y no de los altavoces en sí. Además, es posible mover los sonidos por detrás e incluso por delante de la pantalla en tiempo real, movimiento que puede venir predeterminado o bien lo puede crear el usuario mediante una herramienta interactiva creada al efecto.

En conclusión, las posibilidades que brinda el sistema de sonido propuesto son muy extensas y no todas están desarrolladas en el ámbito museístico. La acertada combinación de imágenes en movimiento sobre pantallas de distinto tamaño y forma, junto con la habilidad de generar sonidos sin limitaciones de espacio, movimiento, volumen o dinámica sientan las bases de entornos en los que la inmersión y la interacción se elevan a estándares indistinguibles de la realidad.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el VR de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Universidad de Alicante bajo el Proyecto ref. GRE09-33 y por la Generalitat Valenciana bajo el Proyecto ref. GV/2011/042.

Notas

[1] Polarización: fenómeno por el cual la luz oscila solo en un plano determinado, denominado plano de polarización.

[2] Técnicamente, se trataría de cinco canales que se distribuyen en tantos altavoces como sea necesario, aunque en este contexto los autores prefieren describirlo así por motivos de claridad.

[3] Véase: [http:// www.nhm.ac.uk/natureplus](http://www.nhm.ac.uk/natureplus)

[4] Véase: <http:// www.bufovc.ac.uk/events/learningonscreen/learningonscreen2011>

[5] Véase: <http://www.jmberlin.de>

[6] Véase: <http://www.liliesleaf.co.za>

[7] Véase: <http://www.vroom.org.au>

[8] Véase: <http://www.ilumus.gl>

[9] Véase: <http://www.nmni.com/um>

[10] Las imágenes 3D en pantallas semiesféricas se proyectan sobre la parte frontal de la cúpula.

[11] Véase: <http://www.cac.es/hemisferic>

[12] Véase: <http://www.cenit-vision.org>

[13] Véase: <http://www.museumoftolerance.com>

[14] Véase: <http://www.shafallah.org.qa>

[15] Véase: <http://www.odysseum.de>

[16] Véase: <http://www.hhi.fraunhofer.de>

[17] Véase: <http://www.virtuell.es>

Bibliografía

Armenteros, M. (2011). Técnicas audiovisuales. El 3D estereoscópico ha vuelto para quedarse. *Telos*, 88 [en línea]. Disponible en: http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/DYC/TELOS/REVISTA/Anlisis_88TELOS_ANALISIS2/seccion=1217&idioma=es_ES&id=2011072613330001&activo=7.do [Consulta: 2011, septiembre].

Carrozzino, M. y Bergamasco, M. (2010). Beyond virtual museums: Experiencing immersive virtual reality in real museums. *Journal of Cultural Heritage*, 11, 452-458 [en línea]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/12962074> [Consulta: 2011, junio].

Coulter, P. G. (1998). The acoustic and sound design for a museum exhibition on indigenous music and dance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 103, 3046.

- (1999). Use of immersive sound in a museum exhibition. *Journal of the Acoustical Society of America*, 105, 943.

De Vicente Domínguez, A. M. (2011). Aportaciones de la digitalización a las artes plásticas. *Telos*, 88 [en línea]. Disponible en: http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/DYC/TELOS/REVISTA/Dossier/DetalleArticuloTELOS_88TELOS_DOSSIER4/seccion=1266&idioma=es_ES&id=2011072712570001&activo=6.do [Consulta: 2011, septiembre].

Deligiannidis, L. y Jacob, R. J. K. (2005). An Immersive Environment for the Vase Museum. Proceedings of the *International Conference on Human-Computer Interaction*. Las Vegas, USA.

Eckel, G. (2001). Immersive Audio-Augmented Environments. Proceedings of the *8th Biennial*

Symposium on Arts and Technology. Connecticut College, USA.

Fernández Sánchez, M. C. (2000). Imágenes en tres dimensiones. *Revista Latina de Comunicación Social*, 31 [en línea]. Disponible en: <http://www.ull.es/publicaciones/latina/aa2000kjl/z31jl/87sanchez.htm> [Consulta: 2011, octubre].

García Cantero, J. (2011). Exposiciones y cibercultura. *Telos*, 88 [en línea]. Disponible en: http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/DYC/TELOS/REVISTA/Dossier/DetalleArticuloTELOS_88TELOS_DOSSIER5/seccion=1266&idioma=es_ES&id=2011072713470001&activo=6.do [Consulta: 2011, septiembre].

Hernández, L., Taibo, J., Seoane, A. y López, R. (2004). The experience of the Empty Museum. Displaying cultural contents on an immersive, walkable VR room. *Proceedings of the International Computer Graphics*, 436-443. Grete, Grecia.

Jacobsen, J. W. (2011). Purpose of the Digital Immersive Giant Screen Specifications. *Technical Report* [en línea]. Disponible en: http://whiteoakinstitute.org/digss_1.0.pdf [Consulta: 2011, septiembre].

Leonardo Murolo, N. (2011). Desasosiego en la cultura de la imagen. *Telos*, 88 [en línea]. Disponible en: http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/DYC/TELOS/ResultadoBsquedaTELOS/DetalleArticuloTelos_86TELOS_PERSPECT_2/seccion=1227&idioma=es_ES&id=2011012709040001&activo=6.do [Consulta: 2011, septiembre].

Malerczyk, C. (2004). Interactive museum exhibit using pointing gesture recognition. *International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision*, 165-171. Plzen, Czech Republic.

Marimón, D., Adamek, T., Göllner, K. y Domingo, C. (2010). El futuro de la realidad aumentada móvil. *Telos*, 84 [en línea]. Disponible en: http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/DYC/TELOS/ResultadoBsquedaTELOS/DetalleArticuloTelos_84TELOS_TRIBUNA2/seccion=1227&idioma=es_ES&id=2010090108490001&activo=6.do [Consulta: 2011, septiembre].

Molyneaux, D. et al. (2012). Augmenting Indoor Spaces Using Interactive Environment-aware Handheld Projectors. *Pervasive 2012. Tenth International Conference on Pervasive Computing*. Newcastle, UK.

Mora, J. (2009). Hipermedia y videojuegos: Inmersión Comunicativa Interfacial y Narrativa. *Icono14*, 12, 218-241 [en línea]. Disponible en: <http://www.icono14.net> [Consulta: 2011, junio].

Otero Franco, A. y Flores González, J. (2011). Realidad Virtual como medio de comunicación

de contenidos. Aplicación como herramienta educativa y factores de diseño e implantación en museos y espacios públicos. *Icono14*, 185-211 [en línea]. Disponible en: <http://www.icono14.net> [Consulta: 2011, septiembre].

Santacana, J. y Martín, C. (Coord.) (2010). *Manual de museografía interactiva*. Gijón: Trea.