

EL SONIDO ENVOLVENTE EN ENTORNOS AUDIOVISUALES INMERSIVOS

Propuestas en el ámbito educativo

Basilio Pueo

Profesor de Comunicación Audiovisual

Departamento de Comunicación y Psicología Social. Universidad de Alicante. Ctra. San Vicente del Raspeig s/n. 03690 Alicante (España) - Email: basilio@ua.es

Manuel Sánchez Cid

Profesor Contratado Doctor

Facultad de Ciencias de la Comunicación. Universidad Rey Juan Carlos. Camino del Molino s/n, 28943 Fuenlabrada, Madrid (España) – Email: manuel.cid@urjc.es

Resumen

Los entornos de comunicación inmersiva han irrumpido recientemente en la escena social con un nivel de aceptación pública notable, especialmente en el mundo de las artes escénicas y del entretenimiento.

Palabras clave

Sonido, Envolvente, Educación, Cinematografía, Localización, Audiovisual

Key Words

Sound, Surround, Education, Cinema, Localization, Audiovisual

Abstract

Immersive communication environments have recently erupted in the social scene with a remarkable level of public acceptance, especially in the world of performing arts and entertainment. The aim in these systems is to provide verisimilitude to the artificial stimulus in order to suggest a series of sensations the viewer associated with the visual drama of the narrative. Communication professionals have exploited the benefits of the sense of sight by various techniques in pursuit of a high sensory impact. Some of their proposals have been implemented timidly in the field of education, especially in higher education stage. However, being humans multisensory receivers, their assessment from a stimulus is based on a combined interpretation of various weighted stimuli, not just the visual sense. However, the trend in immersive media proposals is not to consider the other senses with sufficient entity, including the ear, which importance in communication is extraordinary. In this article, the authors present an overview of current and future immersive surround sound systems, conducting a series of proposals in the field of immersive education aimed at improving the teaching-learning process.

miento. El fin que se persigue en estos sistemas es dotar de verosimilitud al estímulo artificial para provocar en el espectador una serie de sensaciones asociada al dramatismo de la narrativa audiovisual. Los profesionales de la comunicación han explotado los beneficios del sentido de la vista mediante distintas técnicas en aras de un impacto sensorial elevado. Algunas de sus propuestas se han implementado tímidamente en el ámbito educativo, especialmente en la etapa de educación superior. No obstante, siendo el ser humano un perceptor multisensorial, la valoración ante un estímulo se realiza en función de una interpretación fusionada y ponderada de diversos estímulos, no simplemente el sentido visual. A pesar de ello, la tendencia en las propuestas de comunicación inmersiva no consideran el resto de sentidos con suficiente entidad, entre ellos, el del oído, cuya importancia comunicativa es extraordinaria. En este artículo, los autores presentan un repaso de los sistemas actuales y futuros de sonido envolvente o inmersivo, con los que realizan una serie de propuestas en el ámbito de la educación inmersiva cuyo objetivo es la mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Introducción

Gracias a los avances tecnológicos en la sociedad de la información y las comunicaciones, los sistemas de comunicación inmersiva han hecho aparición recientemente en la escena social y se han probado con éxito en el mundo del entretenimiento. El objetivo de todos ellos ha sido brindar verosimilitud al estímulo artificial para provocar en el espectador una serie de sensaciones asociada al dramatismo de la narrativa audiovisual.

Al ser la vista un estímulo primordial en humanos (Morris, 1967), gran parte del esfuerzo se ha focalizado en proveer de inmersión visual mediante distintas técnicas, tales como aumento del área de estímulo maximizando las pantallas de visualización (véase el caso de la cinematografía o de los televisores domésticos de dimensiones cada vez mayores) o recientemente la inclusión de visión estereoscópica o 3D.

Estas técnicas se han comenzado a emplear en el ámbito de la educación con cierta repercusión. Un ejemplo de ello son los sistemas de realidad aumentada, en los que un objeto se visualiza a través de un ordenador con un abanico de información añadida o incluso con una visión tridimensional del mismo que se actualiza con cambios de posición del receptor. En otros ámbitos, tales como los museos, centros culturales o de ciencias, éstos y otros sistemas análogos son relativamente frecuentes. Sin embargo, el receptor siempre realiza una valoración en función de una interpretación fusionada y ponderada de diversos estímulos, siendo los más importantes el citado estímulo visual y el sonoro (Pilotta y Mickunas, 1990).

Tan importante es la fusión unísona de estímulos que recientemente se están introduciendo nuevas fuentes sensoriales en

escenarios históricamente dominados por la imagen. Por ejemplo, las últimas innovaciones en salas cinematográficas pasan por estimular el sentido del olfato y el tacto o movimiento. Para el primer caso, unos generadores de efectos olfativos sincronizados con la película emergen de las butacas, mientras los espectadores disfrutan de la película (Chiao, 2003). Para el segundo, los espectadores pueden disfrutar de explosiones y escenas llenas de suspense junto con el movimiento de su butaca, en sincronización con la acción de la pantalla, creando así una experiencia de inmersión mayor¹.

Esta constelación de estímulos crea en el receptor un objeto mental unitario compuesto por todos y cada uno de los estímulos, interactuando difusamente entre ellos (Pilotta y Schultz, 2005). A pesar de la conveniencia de proveer de información multisensorial con la que generar una sensación verosímil, la tendencia en las propuestas de comunicación inmersiva, tales como las arriba citadas, no consideran el resto de sentidos con suficiente entidad, entre ellos, el del oído, cuya importancia comunicativa es de una importancia extraordinaria, tesis apoyada por numerosos autores, entre ellos Bruhn (2010).

Objetivos

En este artículo, se realiza un repaso a los sistemas actuales y futuros de inmersión sonora que complementen a los avances en imagen con los que se pueda crear un entorno audiovisual inmersivo verdadero. Se realiza una breve exposición de los fundamentos tecnológicos de audio que permi-

ten proveer sensaciones circundantes y su aplicación en comunicación. Con este cuerpo de conocimientos, los autores realizan una serie de propuestas en el ámbito de la educación inmersiva cuyo objetivo es la mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Metodología

Estudio documental de las principales referencias actuales sobre el campo de estudio,

y análisis sistemático de los conceptos tratados.

1. Sistemas de audio inmersivo

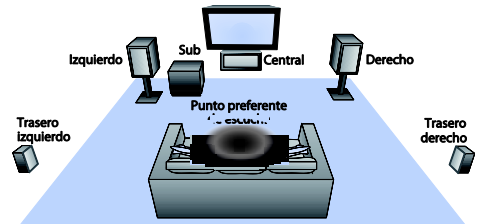
A lo largo de la historia del cine, el sonido ha vivido momentos de cierto esplendor pero también épocas oscuras en las que se le vio como un elemento perturbador en la narrativa audiovisual. En su nacimiento, el cine sonoro causó cierto rechazo en algunos directores, quienes se negaban a introducir el sonido en sus producciones argumentando que la verdadera estética del cine era la imagen. Las primeras producciones de la época que incluían sonido consideraban a los diálogos como única forma de expresión sonora, convirtiendo así a las películas en el rodaje de una obra de teatro. Sin embargo, esta situación fue cambiando paulatinamente y los directores más importantes del cine mudo establecieron las bases del lenguaje sonoro que se mantiene a día de hoy. En la actualidad, el sonido constituye una parte fundamental de lenguaje cinematográfico.

Aunque el objetivo de los primeros sistemas sonoros era el mero acompañamiento a la imagen, los ingenieros de sonido pronto comprendieron que la inmersión completa se produciría sólo si se dotaba de espacialidad a ambos sentidos.

El método más sencillo y el que más se ha extendido en el mundo es el estéreo, el cual permite crear una imagen sonora aceptable en la zona situada entre los dos altavoces. Sin embargo, para obtener una

condición de escucha óptima, el escuchando se debe situar en el vértice perpendicular a la base que formaría un triángulo equilátero. Este lugar se denomina punto dulce (*sweet point*) o zona preferente de escucha y toda variación de dicho punto provoca una escucha deformada.

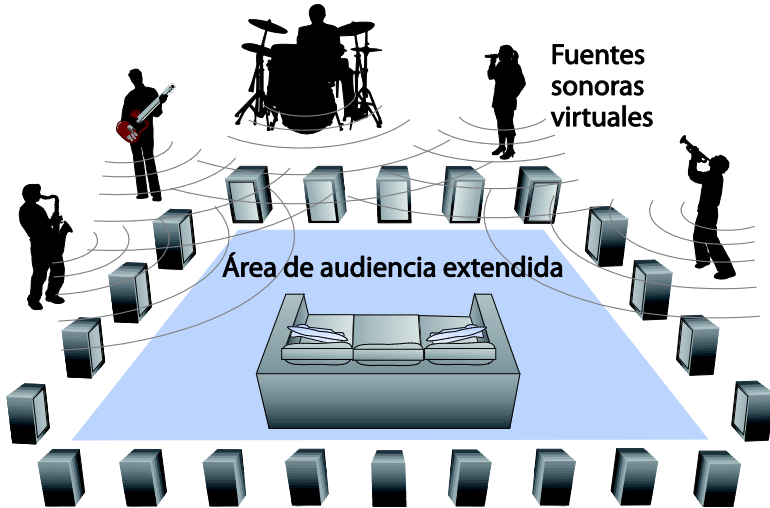
Gráfico nº 1: Configuración típica de sonido envolvente 5.1 (6 altavoces)



Fuente: Elaboración propia

Por ello, tan sólo una persona puede situarse en el punto preferente de escucha, el cual forma un triángulo equilátero con los dos altavoces. En esas condiciones, es posible situar una fuente sonora en cualquier punto en la línea que une los 60° que forman los dos altavoces. En caso contrario, la imagen central se desplazará hacia el altavoz que se encuentre más cerca del oyente (Efecto de Precedencia Temporal o de Intensidad), creando una incoherente relación entre la imagen visual de una película y su imagen acústica.

Gráfico n° 2: El sonido espacial mediante Wave Field Synthesis permite recrear el ambiente sonoro que provocaría una serie de emisores de sonido virtuales situados tras los altavoces de manera fiel para todas y cada una de las personas del público



Fuente: Elaboración propia

La popularidad de los sistemas estéreo en el mercado doméstico fue muy elevada ya que la demanda del público era suficientemente moderada a pesar de los inconvenientes citados. Si se desea situar fuentes sonoras independientes localizables fuera de la ubicación de los altavoces, es necesario apartarse de la estereofonía tradicional para considerar alternativas multicanal, como los sistemas de sonido envolvente 5.1 y sistemas ambisónicosⁱⁱ (pantofónicos y perofónicos), que se describen a continuación.

1.1. Sistemas de sonido envolvente y ambisónicos

La preocupación por la espacialidad del sonido no es exclusiva de nuestros días.

Existen antecedentes en el siglo XVI, donde los cantos de la tradición polical se interpretaban desde dos o más lugares diferentes en busca de nuevas sensaciones. En los siglos XVIII y XIX, compositores como Beethoven, Berlioz o Gustav Mahler, escribieron música utilizando la movilidad de la orquesta para crear ilusiones de espacialidad sonora. A principios del siglo XX, la Bell Telephone desarrolla los primeros auriculares estereofónicos. La misma compañía estudia la espacialidad sonora mediante un sistema que emplea una cortina de micrófonos dispuestos frente a una cortina de altavoces. Posteriores investigaciones permitieron obtener resultados similares con sólo tres micrófonos dispuestos en un mismo frente de 180° distribui-

dos en izquierda, centro y derechaⁱⁱⁱ. Stokowki colaboró en 1932 con la compañía para la obtención de grabaciones estereofónicas. Por esas fechas, Alan Blumlein trabajaba en un sistema de grabación que continúa utilizándose en nuestros días: el sistema estéreo Blumlein. La década de los 40 significó el inicio de la experimentación con reproducciones de más de un canal de sonido en auditorio. “Fantasía” fue la primera experiencia cinematográfica con concepto de sonido envolvente o *surround* con tres vías de sonido tras la pantalla. Desde la década de los 50 con el LP estéreo, pasando por los años 60 con el desarrollo de la estereofonía en FM, hasta nuestros días, existe un extenso número de mejoras e invenciones:

Cuadro nº1. Proceso evolutivo de la espacialidad en los sistemas de sonido

AÑO	CINE	TV – RADIO Y CONSUMO
1888		Gramófono (mono)
1955	Todd-AO - 70 mm (6: 5 front. y 1 Surround)	
1958		LP estéreo
1961		FM estéreo
1970		Cassette estéreo + Dolby-B
1972		Cinta de vídeo (mono)
1975	Dolby Estéreo	
1978	Surround estéreo (cintas de 70 mm)	Cinta de vídeo estéreo
1979	Dolby Estéreo 70 mm	
1980		Laser disc estéreo

1984		Dolby Surround en Vídeo Disc y VHS
1986		Televisión estéreo (2: L y R)
1987	Dolby SR óptico (4 ch)	Dolby Surround Pro Logic (4: L, C, R, S)
1991	Cinema Digital Sound óptico (5.1)	
1992	Dolby Digital óptico (5.1)	Primeras emisiones de la NHK sonido cuadrafónico
1993	DTS (5.1)	
1995	SDDS (7.1)	Dolby Digital (5.1)
1998		Dolby Digital 5.1 EE.UU HDTV
1999	Dolby Digital Surround EX (6.1)	Dolby-E (8) SACD -DSD-Sony (Direct Stream Digital) (3/2)
2000		Dolby Surround Pro Logic II (5.1)
2001		Emisiones experimentales NHK en HDTV con AAC (3/2 – 5.1) Europa: Dolby Digital en HDTV
2002		EEUU: primeras experiencias de radio en con Dolby Digital
2003		Europa: (Suecia) primeras emisiones de radio con (5.1) DTS
2005		Aparición del MP3 Surround Instituto Fraunhofer
2006		Aparece Dolby Digital Plus Colaboración entre AAC y DTS
2006		Dolby EX (6.1) DTS NEO (6.1)
2007		Dolby TrueHD (7.1) DTS HD

Fuente - Elaboración propia

El sonido envolvente es algo más que una suma de avances tecnológicos, es la búsqueda de una inquietud que tiene como objetivo, recrear, en la medida de lo posible, un entorno sonoro que se aproxime al concepto omniespacial de 360 grados. En otras palabras, dotar al sonido de un campo de acción con 360 posibles ejes de incidencia, bien con un afán de construcción realista, o sencillamente, en pro de la máxima expresividad.

En ese constante intento de aproximación hacia entornos de escucha más realistas, se evidenció la necesidad de aumentar la reproducción espacial del sonido frente a los sistemas mono y estéreo, que en el caso del sistema estéreo no permite un ángulo mayor de 60°. La solución apareció con los formatos multicanal. De los distintos sistemas de sonido envolvente desarrollados tanto para explotación comercial como en proceso de investigación (3.1, 4.0, 3.2, 5.1, 6.1, 7.1, 10.2 y 22.2), el sistema de sonido envolvente 5.1^{iv} discreto^v basado en la Norma *ITU-R BS.775-1*^{vi}, ha demostrado ser uno de los más reconocidos por el sector *Broadcast* o de la radiodifusión profesional, siendo seleccionado por su eficiencia y equilibrio en la respuesta espacial (Sánchez, Benítez y García, 2009).

Nos centramos en el sistema de procesado discreto porque permite un espacio sonoro inmersivo dinámico en un plano con 360 posibles ejes acción independientes, lo que significa recibir sonidos perimetrales en el plano horizontal sin limitación direccional.

La ubicación o proyección de los sonidos no queda restringida al límite espacial exterior que marca el contorno virtual definido por los altavoces o cajas acústicas, lo que permite una extensión efectiva del campo sonoro prácticamente infinita, así como un extenso número de acciones internas. Esto es inviable con los sistemas mono o estéreo y con los sistemas envolventes matrizados o de procesamiento *surround* con simulación psicoacústica.

Entre las principales razones que impulsaron la elección del sistema envolvente 5.1 discreto (correspondiente a los sistemas de codificación digital), destacan las siguientes:

- La dinamicidad espacial de los sonidos, lo que posibilita la combinación de trayectorias móviles con puntos estancos, siempre en un plano sonoro, que en principio y por cuestiones de localización humana, es el horizontal.
- La independencia de señal de cada uno de los canales.
- Una imagen sonora espacial mucho más real, precisa y mejorada. Esto debería ser así en todos los entornos de reproducción si se asumiera expresamente la especificación de la norma, circunstancia que salvo en estudios y salas especializadas no es fácil de conseguir.
- Mejora del concepto de perspectiva^{vii} gracias al altavoz central.

1.2. *Wave Field Synthesis*

El sistema más avanzado hoy en día para proporcionar una sensación de inmersión sonora en un área muy extensa es Wave Field Synthesis (WFS). Con esta técnica, el ambiente sonoro se crea para toda el área de audiencia mediante un conjunto de altavoces, eliminando completamente el punto de escucha óptimo de los sistemas anteriores (Pueo y otros, 2010).

Mediante Wave Field Synthesis, es posible diseñar un emisor de sonido, bien sea un locutor, un instrumento, etc, que se encuentre situado detrás de los altavoces, a una cierta distancia. El sistema genera entonces qué sonidos deben salir por cada uno de los altavoces para que se recree el campo sonoro que ese emisor de sonido crearía en una audiencia que verdaderamente los tuviera delante en el sentido físico. Por tanto, el público recibirá las señales sonoras que estimulan su sistema de localización humana y creará que el sonido proviene efectivamente de donde se ha generado y no de los altavoces en sí. Por esta razón, a los emisores que se diseñan para crear el ambiente sonoro se les denomina “fuentes virtuales” ya que no existen realmente pero provocan en el oyente la

misma sensación que si existieran. Además, al contrario de lo que ocurre en los sistemas precedentes, la sensación sonora es verosímil para todas las personas del público.

El sistema es escalable ya que permite incluir tantos emisores virtuales como se desee. Por ejemplo, tal como ilustra el Gráfico 2, se pueden situar los componentes de un grupo musical en la disposición en la que realizaron la grabación de manera que los oyentes reciben las ondas sonoras de cada componente del grupo como si estuvieran realmente asistiendo al evento musical. Además, cada una de los emisores virtuales puede moverse libremente mientras generan el sonido y sus ondas de sonido, y por tanto la sensación creada, se van modificando consecuentemente. De este modo, y siguiendo con el ejemplo del Gráfico 2, la solista puede moverse por el escenario virtual mientras interpreta la canción y el público percibirá tal movimiento con naturalidad. De hecho, los cambios en la onda sonora que se producen cuando el objeto que la emite está en movimiento, se recrean exactamente igual con el sistema Wave Field Synthesis.

Cuadro nº 2. Comparativa de sistemas envolventes

	2	3.2 / 5.1	WFS	Dummy-head
Dirección Horizontal	+30° / -30°	360°	360°	360° (frente inestable)
Elevación	No posible	Constricciones	Posible	Posible
Distancia corta	No posible	Constricciones?	Posible	Posible
Profundidad	Frontal simulada	Posible	Posible	Posible
Impresión espacial	Restingida	Posible	Posible	Posible
Envolvencia	No posible	Posible	Posible	Posible

Fuente: *Elaboración propia.*

2. Características comunicativas del sonido envolvente

El acto creativo tiende en esencia a evitar ataduras, no obstante, la realidad demuestra que en el proceso de la comunicación audiovisual existen factores externos de distinto orden que contraen y limitan la creación de la idea; sin ir más lejos, se podría hablar de limitaciones puramente tecnológicas, como ejemplo: el sistema monofónico no permite las posibilidades comunicativas del sistema estereofónico, y éste, a su vez, está limitado frente a los sistemas envolventes, que a su vez evidencian limitaciones conforme a su propio proceso evolutivo. De aquí deriva una importante cuestión: ¿la tecnología limita o capacita el proceso comunicativo? La respuesta es evidente. No obstante, el avance

tecnológico no sirve de nada si no hay una utilidad consistente. Por ello, sin duda, el desarrollo tecnológico viene a completar las propiedades del mensaje posibilitando mejoras para el discurso. Pero no siempre la tecnología es bien recibida por todos. En ocasiones, los procesos de adaptación provocan estados de inestabilidad que se reflejan en el rechazo automático hacia los nuevos sistemas. La instauración de una novedad tecnológica debe encontrar en la capacidad experimental la búsqueda de nuevos tratamientos que faciliten el avance y desarrollo efectivo de los procesos de comunicación. En este sentido, el momento actual se presenta como propicio para otro gran avance: el sonido envolvente discreto.

Perfecto candidato a convertirse en un nuevo motor sonoro en la construcción de los mensajes audiovisuales.

Entre las distintas capacidades comunicativas que ofrecen los sistemas sonoros envolventes discretos, se pueden citar las siguientes:

1. Permite un espacio sonoro envolvente de 360°, que dependiendo de la tecnología será en el plano horizontal, o en horizontal y vertical si son sistemas ambisónicos.
2. Permite posicionamientos dinámicos y múltiples localizaciones de la fuente o fuentes sonoras en 360°.
3. Permite localizaciones de la fuente o fuentes sonoras en cualquier punto interno del campo sonoro.
4. Permite la combinación de acciones independientes y simultáneas.
5. Permite definir perfectamente los conceptos de plano, escena y secuencia sonora.
6. Permite la sensación de multiperspectiva en función de la variación del punto de escucha.
7. Permite modificar el mensaje en función del punto de escucha y modificar el punto de escucha en función del mensaje.

Otra interesante característica innovadora es la reconstrucción de volúmenes espaciales definidos gracias a la captación o recreación de los matices de reverberación

sonoros, bien de forma natural o artificial (procesadores y convolución^{viii}). Esto se consigue mediante el procesado y control de los tiempos de retardo de las distintas reflexiones existentes en cada espacio acústico particular, y con la valoración de los procesos de divergencia y convergencia espacial, que permiten el control posicional preciso de todos los sonidos integrantes de la acción y de sus correspondientes recreaciones volumétricas por reflexión.

En este sentido se sigue investigando un procesado volumétrico sonoro que sea capaz de obtener relieves corpóreos de cada objeto, lo que implicaría de forma automática, obtener las reflexiones intermedias que generaría un objeto insertado en cualquier espacio sonoro. Esto dotaría al mensaje de un excepcional realismo tridimensional que magnificaría la simulación de cualquier espacio y elemento contenido en el mismo. El sonido envolvente, en la actualidad es capaz de crear espacios sonoros mediante la sensación volumétrica generada por los contornos espaciales, permitiendo la manipulación específica de los espacios y la ubicación de los objetos contenidos en ellos de forma muy aproximada. Esto tomará mayor trascendencia cuando sea posible de forma no experimental, generar sonidos corpóreos que asuman los ejes X, Y y Z en cada uno de los elementos generadores del sonido. Sin duda, no sólo representará un magnífico avance en los procesos comunicativos, y no nos referimos necesariamente a los sistemas

de radiodifusión profesional, sino a un avance en aplicaciones de proximidad como la educación, la cultura interpersonal y la medicina.

Para los autores, el sonido envolvente permite distinguir matizaciones en los conceptos de plano sonoro, término sonoro, escena sonora y secuencia sonora. Como norma general, se suele asociar plano sonoro a la proximidad o lejanía de una fuente de sonido concreta -existiendo distintas categorías dentro de su clasificación^{ix}, de tal forma que viene a denominar al todo por una parte. Por ejemplo, en vídeo, cuando se establece un plano visual para delimitar el espacio y así acotar los elementos integrantes, al margen del tamaño del plano pueden existir elementos internos que guarden su propia interrelación espacial. Por tanto, en cada plano visual se puede establecer una composición interna de los elementos integrantes, en la que pueden darse diferentes términos de proximidad y lejanía. Así, un primer plano de una persona establecerá su figura en primer término, pero, a su vez, podrán presentarse otros elementos de aparente menor importancia narrativa dispuestos en términos espaciales más lejanos, con lo cual, en un mismo plano se establece una relación interna de proximidad y lejanía espacial.

En sonido, se suele asociar el plano sonoro a la proximidad o lejanía de la fuente que lo emite, pero no se suele mencionar que en un mismo plano sonoro puedan darse varias

relaciones de espacialidad; es decir, que se integren distintos términos sonoros conjuntamente. A modo de ejemplo, se puede decir que cuando se habla de plano sonoro general, parece que por obligación, todos los sonidos que componen el pasaje sonoro tienen que mantenerse en una misma dimensión de lejanía, no siendo así necesariamente, pues en un plano sonoro general, como su propio nombre indica, se ofrece una perspectiva abierta de las diferentes fuentes sonoras contenidas en él, dándose la posibilidad de una combinación de “escenarios” que guarden distintas distancias y profundidades entre las fuentes generadoras del sonido. Por lo tanto, las categorías establecidas en la clasificación de plano sonoro, hacen referencia exclusiva a las fuentes particulares, y se olvidan de la composición de carácter general, pues en todo escenario sonoro, por simple que sea, se establecen unas interrelaciones espaciales entre las fuentes que lo componen. Es más, incluso una única fuente sonora estática en un término espacial determinado puede construir distintos planos sonoros gracias a sus reflexiones, por ejemplo: una voz en primer término que grita en una iglesia, identificará la proximidad de la fuente gracias al sonido directo; al tiempo que las propias reflexiones generarán otros planos sonoros de mayor profundidad identificando el espacio sonoro y definiendo la escena sonora. Por eso, a la hora de construir el mensaje, el plano sonoro puede contener distintos términos de la

espacialidad sonora de cada una de las fuentes componentes, pero a su vez, es necesaria una definición global de un entorno que las aglutine, por lo que en este caso sería más correcto hablar de escenas sonoras contenedoras de distintos planos sonoros contenedores a su vez de distintos términos sonoros. Escenas sonoras que a su vez compondrán secuencias sonoras. En este sentido, el sonido envolvente permite

integrar escenas sonoras simultáneas, dotándolas de una perfecta cohesión con su correspondiente planificación de las fuentes integrantes en cuanto a los matices de distancia y profundidad, convirtiendo el punto de escucha -que pueden ser varios-, en un eje central, en torno al cual siempre se van a producir acciones localizables en uno o varios escenarios.

3. Aplicaciones en comunicación inmersiva

Valorados los resultados de los distintos avances en sistemas espaciales, la ITU recomendó en su norma BS.775 el sistema multicanal 5.1 como escucha ideal para entorno *broadcast* (radiodifusores radio y televisión). Los motivos se fundamentaron básicamente en el extraordinario realismo que proporciona la combinación de sus 5.1 canales independientes puros o discretos, logrando un campo de acción no conseguido hasta el momento.

Cabe preguntarse si no sería más interesante para la obtención de un mayor realismo en la reproducción de sonido, una norma que estableciese un sistema de más canales. Pues bien, cierto es que existen codificaciones en el sector cinematográfico de hasta 10.2 y se experimenta incluso con 22.2, pero cualquiera de las codificaciones superiores a 5.1 incrementarían el flujo de datos, y aunque el algoritmo sea más eficiente, a priori implica un mayor ancho de banda en los sistemas de transmisión, junto

a un cambio significativo en el actual concepto comercial; dificultad compleja y de difícil implementación en las circunstancias actuales. En opinión del sector, el sistema envolvente digital de 5.1 canales reproduce satisfactoriamente las necesidades de cobertura espacial que se puedan establecer en un entorno doméstico. Considerando un único plano sonoro (el plano horizontal).

Entre las distintas aplicaciones podemos citar:

- Emisoras de radio (ninguna en España excepto la Radio de la Universidad Rey Juan Carlos, que en Diciembre de 2010 se convirtió en la primera radio española en difundir contenidos experimentales con 5.1)
- Cadenas de Televisión, siendo TV3 y TVE las principales plataformas activas en España. Entre las producciones al uso destacan: Deportes (tenis, fútbol, Fórmula 1 y baloncesto entre otras, siendo los pasados

Juegos Olímpicos producidos íntegramente con Sonido 5.1); Series y documentales, entre otras.

- Artes Escénicas: la mayoría de los musicales producidos en España, tienen diseño multicanal. En este sentido es importante diferenciar el concepto 5.1 broadcast del multicanal en Teatro, en cuyo caso los

envío sonoros pueden ser múltiples e independientes, superando en gran número la configuración de 6 canales del anterior. Entre las empresas más destacadas en el diseño de dichas producciones destaca Milán Acústica, pionera en este tipo de diseños en España.

4. Propuestas en el ámbito de la educación

El ámbito educativo constituye un reto de crucial importancia para la capacidad comunicativa del sonido envolvente. No debemos olvidar que el proceso de enseñanza y aprendizaje es, en sí, un proceso de intensa comunicación en el que el receptor va a formar su personalidad.

De acuerdo con la Pirámide de Aprendizaje del Instituto NTL, sólo una pequeña cantidad de información se conserva si se adquiere por medio de actividades clásicas como la lectura y la asistencia a clases magistrales, mientras que las actividades audiovisuales, en las que incluyen vídeos y sonidos alcanzan retenciones mucho mayores. Por esta razón, una estimulación acertada y coordinada con la imagen permite activar mecanismos fisiológicos naturales que favorecen la sensación de experiencia vívida y por tanto, se produce una asimilación de la información obtenida

En un futuro próximo, operaremos en entornos virtuales como o si estuviéramos en entornos físicos, no sólo por el aspecto de los agentes y de los objetos, sino tam-

bién porque las consecuencias de nuestras acciones serán tan reales como las consecuencias de nuestras acciones en entornos físicos (Victoria, 2010).

En etapas precoces de enseñanza básica, como por ejemplo en las *guarderías*, se debe aprovechar la extraordinaria capacidad de los infantes para crear sinapsis entre neuronas, dado el crecimiento espectacular del cerebro en esas etapas. El sonido inmersivo puede estimular por tanto mecanismos de localización espacial que son interpretados en la dirección que el programa de aprendizaje establezca.

En la etapa del *colegio e institutos*, en la que los niños y niñas están acostumbrados a un ambiente sobreestimulado (TV, mass media, videoconsolas, internet), la introducción de un elemento novedoso que les atraiga en la línea del aprendizaje de un contenido determinado es complejo. El sonido envolvente, con los contenidos educativos diseñados adecuadamente, es un recurso que permite sorprenderlos y atra-

erlos. Esta fase que despierta el interés es la antesala del aprendizaje efectivo.

Finalmente, en la etapa de enseñanza superior, la inclusión del sonido envolvente supone un reto particular. Dada la especialidad de los estudios particulares que ofrece la *Universidad*, es complicado proponer acciones genéricas. En su defecto, se sugiere la implementación de un tipo de instalación de inmersión aumentada a modo de laboratorio sensorial. Consistiría en un sistema de vídeo estereoscópico por polarización de la imagen mediante un proyector al efecto y un sistema de 5.1/Wave Field Synthesis que envuelva al alumnado. Recientemente se acaba de inaugurar el primer aula equipada con un sistema completo Wave Field Synthesis en 360° en la Universidad Técnica de Berlín. La instalación, que incluye 880 altavoces distribuidos en 86 m de cerramiento, emplea 16 ordenadores a tiempo real para dotar de sonido envolvente a un aula de 644 asistentes. Diversas experiencias han demostrado asimismo la capacidad educativa de la aplicación de las nuevas tecnologías en el ámbito universitario (del Barrio y García, 2006).

En *Museos y Artes Escénicas*, la especialidad sonora inmersiva de doble plano, permite reconstruir con gran precisión una realidad sensorial que en conjunción con los sistemas de multiproyección de vídeo y láser, es capaz de generar un alto nivel de abstracción de la realidad cotidiana y centrar al

espectador en el evento cultural, consecuencia de un efecto de impacto que trasciende a lo perceptivo y se adentra en lo puramente sensitivo y emocional. Asegurando así un incremento en el recuerdo, y por tanto, potenciando los efectos comunicativos de los mensajes.

Ejemplos de uso combinado inmersivo se encuentran en el O2 Arena de Londres con *The British Music Experience*, en la Ópera de Zurich, con *Performance Scenes from Goethe's Faust*, o bien el Simulador del Alton Towers Theme Park de Staffordshire, con *Charlie y la fábrica de chocolate*.

No obstante, para que todas estas propuestas se lleven a buen fin, es necesario generar contenidos audiovisuales apropiados. Para ello, profesionales de la comunicación y de la educación han de trabajar conjuntamente en pos de un objetivo comunicativo común. En la actualidad, los medios técnicos para realizar estos sistemas son conocidos y en la mayoría de los casos, los sistemas están implementados. Sin embargo, para que se produzca una migración de los ámbitos de entretenimiento a los de educación, es imprescindible la generación de contenido audiovisual inmersivo. Este aspecto, lejos de ser baladí, supone un gran reto para el sector de la comunicación audiovisual puesto que se ven implicados creadores, técnicos y productores en un cambio de producción de contenidos para el nuevo modelo de educación.

Conclusiones

La implantación efectiva de la tecnología Envolvente/Inmersiva en España no es un reto imposible, existen iniciativas alentadoras, pero el panorama actual del sector audiovisual de la radiodifusión describe una confusión generalizada consecuencia de un claro abandono y desinterés por parte de la mayoría de los sectores implicados. Parte de la responsabilidad, sin duda, depende del compromiso de las administraciones correspondientes y de los medios públicos y privados concernidos. De este panorama es necesario salvar al sector de los videojuegos, tal vez el más implicado con desarrollos verdaderamente inmersivos al igual que algunos espectáculos de artes escénicas y audiovisuales puramente de carácter experimental. El ámbito educativo sería un entorno ideal para la preponderancia de dicho sistema, incluso para empezar a hacer partícipes a los estudiantes de un concepto básico como es el sonido envolvente, prácticamente desconocido para la mayoría de los estudiantes universitarios.

Una de las principales propiedades del sonido envolvente es el impacto memorístico, como ejemplo, el estudio anteriormente citado, en el que se demostró la eficacia en la medición del recuerdo seis meses después a la recepción de mensajes con un único contacto. Si esta experiencia exitosamente real (realizada en el ámbito universitario y con contenido publicitario), se traslada al ámbito de la educación,

seguramente podríamos hablar de una mejora tangible en los resultados académicos de ciertas materias.

Esta observación se fundamenta en los efectos que provocan los avances tecnológicos en el campo del sonido envolvente inmersivo. Sus posibilidades narrativo-expresivas extrapolables a los contenidos educativos conseguirían un proceso de aprendizaje más ágil y de mayor comprensión, lo que muy posiblemente generaría nuevas formas de plantear los contenidos, en numerosas ocasiones abandonados por falta de creatividad o por exceso de monotonía.

Pero no solamente hacemos referencia a los contenidos audiovisuales, porque las posibilidades de identificación espacial que ofrecen los sistemas inmersivos, posibilitarían clases presenciales y *on line* con carácter virtual o videoconferencia, más dinámicas, participativas, con mayor integración y reconocimiento, al poder ubicar en nuestro propio entorno particular y en el del aula, el posicionamiento de las intervenciones, logrando una mayor interactividad que señales lineales unidireccionales. Podría lograrse incluso una *acusmatización* (de acústica) con tal fuerza e identidad que pudiera superar la necesidad de señal visual. No estamos insinuando que la asistencia a las clases magistrales guiadas por un docente pueda ser prescindible, simplemente señalamos que en ámbitos edu-

cativos con problemas circunstanciales de asistencia, esta aplicación podría ser una ayuda importante para la mejora del aprendizaje. Como ejemplo, podríamos citar las clases a distancia vía Internet que por fuerza mayor se imparten en Australia consecuencia en ocasiones de enormes distancias insalvables. Si en dicho caso el alumno dispusiera de dicha tecnología, sería como estar inmerso en el propio espacio del aula y con las mismas relaciones espaciales de interacción con sus compañeros. Por tanto, para la implantación progresiva de una tecnología que únicamente puede ayudar a progresar, entendemos como fundamental un mayor esfuerzo por parte de todos los sectores implicados: administraciones, *broadcasters*, educativos y demás sectores

concernidos; tanto en la implantación y popularización de la tecnología, como en la creación de contenidos y en la subvención de los sistemas para su implementación.

Han pasado demasiados años desde la aparición del estéreo como para desperdiciar la oportunidad que representa el Sonido Envolvente/Inmersivo. Posiblemente éste sea el momento ideal para que la sociedad española dé un nuevo paso hacia delante; nos referimos a un cambio de concepto formal, a una nueva forma de hacer y entender la comunicación, la cultura y la enseñanza. Es muy factible que en un futuro se puedan excitar otros sentidos, pero, a fecha de hoy, es innegable que el sonido envolvente es parte de la revolución sensorial.

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.

Referencias

BRUHN, K. (2010). El sonido de los medios. Revisión interdisciplinar de las investigaciones sobre el sonido en la comunicación, *Comunicar*, VIII, 34. pp.15-23.

CHIAO, D. (2003). Multimedia and scent storage medium and playback apparatus having electrostatic scent release, US Patent No. 6,602,475.

DEL BARRIO, J.A. y GARCÍA, M.R. (2006). Las nuevas tecnologías como herramienta pedagógica para facilitar la comunicación. *Revista Icono 14 [en línea] 1 de Junio de 2006, Año 4, Vol. 1*, pp. 1-17.

Recuperado 10 de Diciembre de 2010 de <http://www.icono14.net>

MORRIS, D. (1967). *El mono desnudo: Un estudio del animal humano*, Barcelona, Plaza & Janes.

PILOTTA, J. y SCHULTZ, D. (2005). Simultaneous Media Experience and Synesthesia. *Journal of Advertisement Research*, 45 (1), pp. 19-26.

PILOTTA, J. y MICKUNAS, A. (1990). *The Science of Communication*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

PUEO, B., LÓPEZ, J.J., ESCOLANO, J. y HÖRCHENS, L. (2010). Multiactuator Panels for Wave Field Synthesis: Evolution and Present Developments, *Journal of the Audio Engineering Society*, 58 (12), pp. 1045-1063.

SÁNCHEZ CID, M., BENÍTEZ, A. y GARCÍA GARCÍA, F. (2009). Estado del proceso de implantación del sonido envolvente 5.1 en el medio Radio

en España. *Revista Icono 14 [en línea] 11 de Noviembre de 2009, N° 13*, pp. 239-258. Recuperado 10 de Diciembre de 2010 de <http://www.icono14.net>

VICTORIA MAS, J.S. (2010). El modelo ideal de interactividad es la conversación. Entrevista a José Luis Orihuela, *Revista Icono 14 [en línea] 15 de Enero de 2010, N° 15*, pp. 320-325. Recuperado 10 de Diciembre de 2010 de <http://www.icono14.net>

NOTAS

ⁱ <http://www.d-box.com/>

ⁱⁱ Ambisónico: El sistema de sonido Ambisonic es una solución tecnológica que permite codificar los sonidos con dinámica móvil en uno o dos planos, posibilitando una ubicación de los distintos sonidos en un escenario horizontal de 360 grados (sistemas "pantofónicos") o en un concepto de esfera completa o doble reloj (sistemas "perifónicos").

² Desde un estricto punto de vista de captación y reproducción espacial sonora, la información conseguida en la captación con tres micrófonos puede ser muy semejante a la captación de sonido multimiocrónica desde numerosos puntos para un sistema de escuchas estéreo; bajo la perspectiva de la sensorialidad, en un concepto de múltiples escuchas como la citada cortina de altavoces, la reproducción espacial con numerosos puntos recreará con mayor verosimilitud lo acontecido en la captación, estableciendo una situación de privilegio en la que se podría jugar con la altura. La altura aportaría un mayor realismo, que en este caso sería conseguido por el sistema de captación múltiple. Las distintas escuchas actuales: mono, estéreo, cuadrafónica, 5.1, 6.1, 7.1 ó 10.2, consiguen diferentes concreciones espaciales en los planos sonoros marcados por anchura y profundidad espacial, pero todavía necesitan de una mayor experimentación en la recreación espacial del plano altura.

^{iv} Sonido 5.1: sistema de sonido que cuenta con 6 canales independientes, definidos como: frontal izquierdo (L), frontal central (C), frontal derecho (R), trasero izquierdo (LS), trasero derecho (LR) y LFE o (SUB-LFE). El canal SUB es una décima parte aproximadamente de las frecuencias del resto de canales, por eso es denominado .1

^v Canal Discreto hace referencia a la autonomía de cada uno de los canales de reproducción, lo que permite obtener una multiplicidad simultánea de señales independientes.

^{vi} ITU-R BS.775-1: La ITU-R (Unión Internacional de Telecomunicaciones – sector de Radiocomunicación), tiene una especificación para salas de escucha respecto a la evaluación crítica de programas multicanal. Esta consiste en la distribución de los 6 altavoces partiendo del altavoz central o grado 0. Quedaría así: altavoz central 0°, los altavoces frontales izquierdo y derecho se ubicarían con valores -30° y +30° respectivamente, formando un ángulo de 60°, -este ángulo se podría reducir a 45° dando resultados igualmente satisfactorios-. Los altavoces surround o traseros se posicionarán con los siguientes valores: izquierdo -110° y derecho +110° del altavoz central o grado 0. Esta distribución proporciona una perfecta integración de los campos sonoros frontal y posterior evitando saltos o vacíos en la reproducción y consiguiendo una perfecta coherencia sonora. Fuente: Manual de AIR SERIES Dynaudioacoustics p.17. www.tcelectronic.com

Cita de este artículo

PUEO, B. y SÁNCHEZ CID, M. (2011) El sonido envolvente en entornos audiovisuales inmersivos. Propuestas en el ámbito educativo. *Revista Icono14 [en línea] 1 de julio de 2011, Año 9, Volumen 2*. pp. 167-184. Recuperado (Fecha de acceso), de <http://www.icono14.net>

^{vii} El altavoz central (C), permite solucionar los problemas derivados del Efecto de Precedencia (Tiempo o Intensidad), comunes en la escucha del sistema estéreo.

^{viii} Convolución sonora: proceso que sirve para “capturar” las cualidades sonoras de un entorno acústico real a un sonido determinado mediante algoritmos matemáticos.

^{ix} Primerísimo primer plano sonoro: el que genera la sensación de máxima proximidad de la fuente.

Primer plano sonoro: el que genera la sensación de fuente próxima, no superior a 50 centímetros.

Plano medio sonoro: el que genera la sensación de distancia normal de la fuente, traducible en una diferencia de -6 a -12 dB respecto al primer plano. Por ejemplo: una conversación con una intensidad normal a una distancia comprendida entre 1 y 2 metros.

Segundo plano sonoro: el que genera la sensación de distancia media de la fuente, traducible en una diferencia de -18 dB aproximadamente, como puede ser una conversación con intensidad normal a una distancia aproximada de 5 metros.

Tercer plano o plano lejano sonoro: el que genera la sensación de lejanía de la fuente. Se podría establecer en una diferencia mínima de -24 dB. No confundir con plano de fondo.