

# Sistemas de audio multi-canal: bases tecnológicas y revisión de la terminología

Pablo García Valenzuela  
Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico  
Laboratorio de Acústica y Vibraciones, UNAM

Se revisan los más importantes sistemas de audio multi-canal actuales y se estudian sus bases tecnológicas. Las contribuciones básicas plantean una organización y comparación de los diferentes sistemas de audio multi-canal y proponen una terminología que incluya tipos de prácticas, orientación estética de los sistemas y aspectos perceptivos del espacio acústico. La intención es formar un criterio profesional tanto para el uso especializado del audio multi-canal existente, como para el diseño de futuros sistemas. Otras áreas, debido a su relevancia en el campo, son la psicoacústica de localización sonora y las bases de la percepción estéreo y de la reverberación espacial. El texto se dirige al músico que le interesa crear en el campo del espacio físico y a otros lectores atraídos por el tema, como los artistas visuales que trabajan con instalaciones multimedia y/o medios audio-visuales con nuevas tecnologías.

*This article makes a review of the most important multi-channel audio systems used today, and studies their technological principles. The general contributions of the text are to raise an organization and a comparison of the different multi-channel audio systems, and to propose a terminology that includes different practices, aesthetic orientation of systems and perceptive aspects of the acoustic space. The main objective is here to establish a professional criterion for the specialized use of the existing multi-channel audio systems, and also for the design of new ones. Due to their relevance in the professional field, the article mentions also two topics: the psychoacoustic location of the sound and the principles of stereo perception and space reverberation. Musicians with creative experience in the field of the physical space, visual artists working on multimedia installations or audio-visual media, and any reader interested on the topic could find certain utility in this text.*

Palabras clave (*keywords*): Psicoacústica, espacialización, nuevas tecnologías musicales.

## Introducción

### *Síntesis y objetivos*

Las evaluaciones presentadas a lo largo del texto son principalmente estéticas, aunque su base recurre a la acústica

\* El autor agradece la beca de posdoctorado otorgada por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM, el apoyo del Laboratorio de Acústica y Vibraciones del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico y el apoyo y asesoría del Dr. Felipe Orduña.

y a la psicoacústica; por lo tanto, el trabajo se aventura a evaluar desde un punto de vista perceptivo los sistemas de audio multi-canal existentes. Sus motivaciones principales son la representación realista-envolvente del sonido y el movimiento y posicionamiento libre del mismo a nuestro alrededor, en particular desde el punto de vista del compositor de música electroacústica. Dichas evaluaciones están apoyadas tanto en la experiencia profesional del autor como en aquella, apenas documentada, de otros compositores y expertos en el campo.

### Marco acústico y marco creativo

La espacialización sonora como parte integral de la exploración musical es un elemento compositivo que puede rastrear hasta tiempos remotos, cuando se podía escoger una distribución creativa de múltiples grupos instrumentales o vocales en un mismo espacio, o bien desplazar físicamente uno o varios instrumentos o voces hacia un espacio contiguo, logrando con ello diversos resultados acústicos.<sup>1</sup>

A mediados del siglo XX, a raíz de la herramienta de edición dentro de la tecnología de grabación de cinta magnética, se abre un nuevo potencial de expresión sonora, con lo cual se crea no sólo la posibilidad de capturar y proyectar cualquier sonido y espacio acústico, sino también la de yuxtaponer diferentes espacios acústicos y/o transformarlos creativamente a través del tiempo. De esta manera, los compositores inventan por primera vez “escenas sonoras” inexistentes en la naturaleza. Desde ese momento hasta nuestros días esta estética se ha enriquecido junto con la invención de nuevos sonidos en el estudio, mismos que se logran por medio de más y mejores herramientas de edición analógica del sonido así como de síntesis digital, dando lugar a lo que hoy se conoce como música electroacústica.<sup>2</sup>

Lo arriba expresado es posible al utilizar sólo uno o dos altavoces de reproducción al frente del escucha,<sup>3</sup> aunque los sistemas frontales sólo pueden crear una impresión parcial del espacio acústico. En estos sistemas el escucha *observa* el espacio acústico desde un punto de vista externo, lo que resulta una experiencia limitada si se compara con la situación real dentro de un recinto cerrado, donde el escucha percibe primero el sonido como fuente directa, con lo cual deduce su localización, además de observar miles de repeticiones –reverberación– en todas las direcciones posibles producto de la interacción de la materia sonora con todas las paredes del recinto. La experiencia en estas condiciones es *envolvente*, y su reproducción requeriría de un número relativamente elevado de altavoces a nuestro alrededor. Aunque el cerebro tolera fácilmente la proyección incompleta de un sonido, lo cual ha permitido el uso de sistemas frontales durante años, es posible mejorar dichos sistemas de audio, uno de cuyos inconvenientes, como ocurre por ejemplo con el estéreo –dos canales al frente–, es que no permiten

la localización multi-direccional de una fuente sonora: todas las fuentes que reproducen provienen, desde el punto de vista del escucha, de la misma dirección frontal.

Los sistemas de audio multi-canal utilizan más de dos altavoces y explotan el potencial del sonido envolvente y la multi-direccionalidad de la fuente. Su éxito radica en que proporcionan un mayor realismo al reproducir una parte considerable de la tridimensionalidad del sonido; es decir, crean la impresión de que el escucha se encuentra dentro de un recinto y le hacen percibir tanto la reverberación circundante como las diferentes posiciones que el sonido pueda tener en el espacio. Al igual, permiten crear yuxtaposiciones más complejas e interesantes y controlar movimientos del sonido en muchas direcciones –*paneo*, del inglés, *panorama*–, lo que aporta un recurso de alto valor creativo para el compositor. Los múltiples altavoces, colocados normalmente a nuestro alrededor, intentan entre otras cosas reproducir la interacción del sonido con todas las paredes que forman un recinto cerrado: frontales, laterales, traseras, techo y, en casos extremos, piso. Según las consideraciones dadas, razones acústicas, estéticas y auditivas hacen que los sistemas multi-canal sean de interés y justifiquen su existencia y desarrollo en el medio musical.

En la distribución y espacialización física de instrumentos en una situación de concierto, la tecnología tiene la ventaja de ser flexible. Cuando se fragmentan una o más orquestas alrededor del público–como sucede en *Gruppen* de Stockhausen, 1957– y se desplazan algunos de sus instrumentos fuera de la sala de concierto –como en la *Sinfonía No. 2* de Mahler, 1895–, se pueden orquestar efectos circundantes, movimientos en círculo de algunos sonidos e incluso utilizar más de un espacio acústico en una misma obra; no obstante, la tecnología electroacústica multi-canal da mayor flexibilidad en todos y cada uno de esos casos. Sin ella no podría cambiarse el tiempo de reverberación y la geometría de una sala de concierto durante una misma obra musical –algo que puede tener un fuerte potencial artístico– ni mucho menos crear la impresión de que un instrumento se halla en un recinto acústico distinto del instrumento que tiene a su lado. Esta tecnología permite el control preciso del movimiento sonoro, así como incorporar un número ilimitado de espacios acústicos virtuales y aplicarlos a cualquier instrumento o sonido, combinar distintos espacios acústicos en un mismo punto de localización, y puede aplicarse a sonidos nuevos producidos en estudio. En composición es válido escoger tanto una distribución física de instrumentos sin hacer uso de la tecnología electroacústica, como una espacialización sólo tecnológica o una combinación de ambas.

<sup>1</sup> Para mayor información se recomienda *Una Historia de la Música Espacial* (A History of Spatial Music), Zvonar, R., 2005, y “Música en el Espacio”, Stockhausen, K., *Die Reihe*, quinto volumen, 1959).

<sup>2</sup> El potencial estético mencionado no es exclusivo de la música electroacústica; por ejemplo, la radio, además del caso de la música Rock/Pop, que ha hecho uso del espacio acústico y en algunos casos de forma innovadora.

<sup>3</sup> Más adelante se explican las bases perceptivas de la proyección del sonido por medio de uno o dos altavoces frontales.

### **Estado actual del campo: panoramas estético y tecnológico**

La tecnología musical<sup>4</sup> es y ha sido siempre uno de los motores de la evolución de la música. Tecnología e idea musical se nutren constantemente entre sí, y es a través de su estrecha colaboración que se logran desarrollos significativos en diversos campos. Aunque esto no es la excepción en el campo del audio multi-canal, las ideas de música espacial son hoy más claras que su solución tecnológica. Mientras que nuestra percepción multi-direccional es innata, a más de ser un mecanismo importante para la supervivencia humana, dista de lograrse en lo inmediato la creación de un sistema de audio multi-canal eficiente cuando se trata de áreas extensas, capaces de alojar a un gran número de personas. Tecnología e idea en el caso del audio multi-canal se encuentran fragmentadas: por un lado, en la industria cinematográfica tenemos el sonido envolvente al servicio de la imagen, mientras que en la música experimental tenemos la espectro-morfología y la espacialización compleja de sonido. Asimismo, y sólo en el ámbito de la música, se encuentran tanto la espacialización manual del sonido en tiempo real como la tendencia a la espacialización automatizada del mismo –pre-grabada en el estudio. Estas dos tendencias pueden llegar a oponerse entre sí dependiendo de los principios estéticos de quienes las practican.

El problema con la fragmentación estética en el audio multi-canal no es su posible falta de variedad, sino que parece presentar fallas en algunos casos. Basta con analizar las prácticas de amplificación y/o grabación en la música Rock/Pop en donde un sonido monoaural se duplica y se proyecta a través de dos altavoces: este recurso, llamado erróneamente sonido estéreo, es un diseño sonoro simple que no toma en cuenta que se escucha con ambos oídos. Por ésta y otras razones es importante analizar algunos de los conceptos básicos de la grabación y la manera en que percibimos el sonido. El análisis de las diferentes tendencias y prácticas deja observar que todas tienen diversas ventajas y desventajas, aunque sorprende que no sean cuestionadas algunas “preferencias” que parecen estar mal fundamentadas; considérese el caso del compositor que prefiere un sistema multi-altavoz basado en fuentes estéreo por encima de uno basado en fuentes multi-direccionales porque supuestamente “resulta un mejor sonido”, cuando en realidad la única razón que justificaría la elección del primero sobre el segundo sería su flexibilidad en salas de concierto.

<sup>4</sup> La orquesta sinfónica es en realidad una sofisticada tecnología en la que han jugado un papel importante la ciencia y sus aplicaciones, lo mismo que la invención y evolución histórica de los instrumentos musicales, lo que ha dado acceso a nuevas sonoridades y a una mayor expresión musical.

Otro ejemplo ocurre en la industria del cine, donde se utiliza sin mayor sentido acústico o audiovisual el canal central del sistema 5.1 como única fuente de reproducción de un diálogo. Ambos casos denotan la falta de información y de discusión sobre estos problemas, así como la escasez de opiniones formalizadas y documentadas que dejen orientar mejor las prácticas y contribuir a que otros realicen nuevas aportaciones. De ahí el interés de iniciar un debate en torno al tema del audio multi-canal.

A corto plazo, no parece asequible lograr un sistema tecnológico que satisfaga todas las necesidades auditivas. En mi opinión se debe por ahora continuar con la idea de construir instrumentos multi-canal que, aunque tecnológica y acústicamente imperfectos, pueden tanto envolver al oyente como crear movimientos sonoros complejos. Esto requeriría optimizar y combinar las tecnologías existentes para crear un instrumento multi-canal nuevo y propositivo, capaz de fusionar la idea con la tecnología.

### **Terminología general**

De entrada, es útil una revisión de diversas definiciones en torno al audio multi-canal, si bien ésta no pretende ser convencional en todos y cada uno de los casos, ya que se trata de uno de los primeros ensayos sobre este tema. En la medida en que exista una mayor contribución de otros investigadores, se podrá establecer un mayor consenso en relación con la terminología utilizada en este campo.

*Fantasma sonoro*: percepción de un sonido “en el aire” –de ahí la idea de *fantasma*– que alude al sentido de la vista –sinestesia– y que se da en el punto de convergencia entre los ángulos de proyección de dos o más altavoces. Este punto se conoce también como *zona dulce* –*sweet spot* en inglés– por la satisfacción visual que evoca en el escucha al estar dentro de ella. La localización del *fantasma* sucede de forma vectorial, y es necesario que los altavoces proyecten réplicas exactas o bien información relativa a un mismo sonido –multi-canal– para que esto suceda. Algunas personas lo llaman también *imagen estéreo*, aunque aquí se rechaza dicho término debido a que la imagen de un sonido se da sin necesidad de un fantasma sonoro, además de tener connotaciones importantes en la música electroacústica.

*Sistema multi-canal*: complejo multi-altavoz. Cada canal corresponde a un altavoz, por lo que el número de canales usados para capturar un espacio acústico define el número mínimo de altavoces de proyección. Para su reforzamiento, es posible en ocasiones aumentar el número

de altavoces por canal. Por ejemplo, cuando el área del público es muy grande se pueden duplicar o triplicar los altavoces del canal lateral, lo que obviamente aumenta la cantidad total de altavoces sin afectar el número de *canales acústicos*. Para crear un efecto envolvente con un *sistema multi-canales* superior en altavoces al sistema estéreo estándar de dos canales frontales, aun si no se define por ello, tiende a rodear al escucha.

En el audio multi-canal no se tiene necesariamente el efecto envolvente de la reverberación en un espacio cerrado. Por ejemplo, un sistema de tres o más canales frontales que no rodeen al escucha, puede ser superior a un sistema de dos canales sin ser envolvente, aunque puede ser útil para resolver el problema de la pérdida del *fantasma sonoro* cuando el escenario del concierto es muy ancho. Un sistema similar no existe en la industria, por lo que es natural que tampoco exista una terminología que lo designe. Por lo tanto, al referirse al audio multi-canal debe especificarse si se trata de un sistema de audio *multi-canal frontal* o *multi-canal envolvente*,<sup>5</sup> caso en el que se requiere especificar el alcance y el tipo de envolvente mutidireccional de la reverberación.

El término *tridimensional* –del que derivan términos como *sonido tridimensional* o *audio tridimensional*– remite a tres direcciones independientes para definir un punto en el espacio, lo que desde la perspectiva del escucha equivale a: izquierda-derecha –eje  $x$ –, adelante-atrás –eje  $y$ –, arriba-abajo –eje  $z$ .<sup>6</sup> La *profundidad* o *distancia* en el audio tridimensional se logra de manera virtual, lo que indica que pueden tenerse múltiples altavoces físicamente colocados de manera que se proyecte el sonido en los tres ejes mencionados. Si bien sería necesario un número infinito de altavoces para cubrir todas las coordenadas posibles –cada una de las resultantes sonoras que definen un punto en el espacio–, por medio de diferencias de amplitud, ecualización de frecuencias agudas y la relación de intensidad entre la reverberación y su fuente puede crearse la impresión –aunque no sin limitaciones– de profundidad o de distancia.<sup>7</sup>

Los términos *círculo horizontal* y *círculo vertical* refieren a círculos imaginarios en los planos horizontal y vertical donde el escucha es el centro. En los casos en los que la configuración de altavoces de un sistema multi-canal es circular, se considera la localización del sonido en cualquiera

de los 360 grados que conforman dichos círculos; sin embargo, los arreglos multi-altavoz no tienen que ser estrictamente circulares sino envolventes, lo que permite considerar también sistemas cuadrados y/o rectangulares, aunque el enfoque de este artículo se dirige principalmente a los diseños de tipo circular. En los casos en los que es irrelevante la distinción entre diseños circulares y no circulares para la discusión de las ideas tridimensionales sobre el sonido, se utilizan también los términos *plano horizontal* y *plano vertical* sin asumir que un círculo y un plano sean lo mismo. Por otro lado, muchos sistemas envolventes de tipo circular están confinados únicamente al círculo horizontal, por lo que son en realidad bidimensionales – $x$ ,  $y$ –, mientras que los sistemas que incluyen el círculo vertical son tridimensionales. De acuerdo al lenguaje formal, el círculo horizontal puede denominarse *acimut* y el círculo vertical *cenit*.

Es necesario mantener una terminología estricta para referirse al audio multi-canal, de manera que puedan bien diferenciarse el *audio multi-canal envolvente bidimensional* del *audio multi-canal envolvente tridimensional*. También es importante aclarar que en el sistema de audio de dos canales puede hablarse también de tridimensionalidad: por medio de sólo dos canales se pueden crear las impresiones izquierda-derecha, atrás-adelante y arriba-abajo. En el caso de atrás-adelante –excepto con la *holofonía*, método que veremos más adelante– sólo puede percibirse adelante y sus respectivas variaciones en términos de profundidad; el caso de arriba-abajo es distinto, pues subjetivamente se tiende a asociar la idea de agudo-grave al eje que corresponde a la dirección arriba-abajo. En el audio multi-canal lo anterior es igualmente aplicable, pero debido a que podemos contar con altavoces físicamente proyectando sonido por arriba y por debajo de nosotros, nuestro eje subjetivo  $z$  –arriba-abajo/agudo-grave– se vuelve real. Aunque un sistema de *audio multi-canal envolvente bidimensional* configurado en el *círculo horizontal* puede ser tridimensional en lo subjetivo, sólo un sistema que incluye el *círculo vertical* es realmente tridimensional. En rigor, los términos *audio multi-canal envolvente bidimensional* y *audio multi-canal envolvente tridimensional* convienen a las descripciones de este texto y sólo se utilizarán los términos *sonido envolvente bidimensional* y *sonido envolvente tridimensional* al hacer referencia a la experiencia del escucha y no al sistema de audio que la hace posible.

*Espacio acústico observado*: refiere a la reverberación no envolvente proyectada por medio de sistemas frontales. Esta experiencia, aunque sin el detalle que se puede lograr con los sistemas de audio, puede darse de manera natural; por ejemplo al escuchar un sonido y su reverberación en una catedral mientras nos encontramos fuera de ella, o cuando

<sup>5</sup> No se considera en este texto un sistema multi-canal lateral por sí sólo o un sistema multi-canal *trasero*.

<sup>6</sup> Es útil mencionar que, a diferencia de la vista, el oído es capaz de percibir detrás de la cabeza.

<sup>7</sup> En algunos sistemas se incorporan algunos altavoces adicionales a mayor distancia del escucha para ayudar en esta tarea, aun si esto no es estrictamente necesario.

nos encontramos justo a la entrada del mismo recinto, de manera que percibimos la fuente sonora directa sin que nos envuelva su reverberación –ésta queda confinada al espacio de manera que la podemos escuchar aun si no nos rodea. En ambos casos, la reverberación es un evento *observado* por el escucha.

*Espacio acústico envolvente*: se utiliza el término cuando el escucha se encuentra dentro de un recinto totalmente cerrado y percibe tanto la fuente sonora directa y su posición como la envolvente multi-direccional de su reverberación al reflejarse el sonido en todas las paredes que conforman el recinto. A diferencia de la idea de “sentirse envuelto espacialmente”, que refiere a la experiencia por parte del escucha, *espacio acústico envolvente* es una descripción de un fenómeno físico.

*Difusión manual o espacialización manual*: práctica de distribuir en tiempo real el sonido en múltiples direcciones; se crean así diversos espacios acústicos mediante una consola de mezcla de audio. De esta manera el compositor decide, a través de los controles de la consola, dónde localizar el sonido en relación al escucha y si crea una experiencia envolvente, frontal, lateral y/o trasera. También puede crear, si lo desea, variaciones de profundidad por medio de diferentes técnicas de posicionamiento de altavoces.

*Difusión automatizada o espacialización automatizada*: misma idea que en el caso anterior, pero pre-grabando en estudio las trayectorias sonoras y los espacios acústicos antes del concierto. Es, por lo tanto, una forma fija de espacialización y su reproducción queda a cargo de una computadora. Tiene la ventaja de que se pueden reproducir movimientos sonoros complejos e individuales en relación a todos y cada uno de los sonidos que forman una pieza musical; no obstante, una vez fija suele ser difícil adaptar nuestra cuidadosa espacialización a diferentes salas de concierto, ya que cada sala tiene diferentes características acústicas que son a su vez distintas a las características propias del estudio. A ello se debe en parte a que quienes practican la espacialización manual la defienden por su flexibilidad, así como por el valor subjetivo que tiene el hecho de ejecutar e interpretar música frente a un público.<sup>8</sup>

*Instrumento multi-canal*: aparato multi-altavoz inventado. Una vez que entendemos que los sistemas multi-canal no son ni van a ser a corto plazo acústica o auditivamente perfectos, debemos usarlos e incluso diseñarlos como instrumentos musicales con su propia identidad. Damos por

hecho, sin embargo, que un instrumento multi-canal debe ser capaz de crear el efecto envolvente, así como los de la localización tridimensional y la expansión del *fantasma sonoro* en tiempo real. Un término también común para la misma idea es el de *orquesta de altavoces*, pero en este trabajo optamos por el término instrumento *multi-canal*.

*Acusmático*: experiencia de escuchar un sonido en ausencia de su causa física. Proviene del griego y se atribuye a Pitágoras, quien se ocultaba detrás de un muro o una cortina para que sus estudiantes se concentraran exclusivamente en lo que él decía sin distraerse visualmente con su presencia. Este término, por lo tanto, no tiene que ver directamente con localización tridimensional o con el envolvimiento sonoro, sino con la imagen que el sonido evoca en nuestra mente. Al escuchar sonidos grabados y proyectados a través de altavoces, las causas físicas originales del sonido no están presentes, lo que nos obliga a usar la imaginación. De aquí se derivan términos como visión sonora o escena sonora. Puede tratarse de sonidos que el escucha reconoce claramente y que reconstruye en su mente –por ejemplo, un plato que se rompe– o tratarse de sonidos inventados en el estudio que incitan al escucha a entrar en el terreno de la fantasía. En cualquiera de los casos, el aspecto acusmático tiene un enorme potencial psicológico y creativo.<sup>9</sup>

## Psicoacústica

### Localización

La percepción en el plano horizontal obedece a la diferencia de tiempo de arribo de un mismo sonido a cada oído y a la consecuente diferencia de amplitud de frecuencias agudas. Por otra parte, estas últimas se absorben en el aire conforme avanza el sonido, aunque también en el cuerpo y en el rostro de la persona que percibe la señal; de ahí que al estudiar la percepción se deben tomar en cuenta las diferentes formas de la parte externa del oído –*pinna*–, de la cabeza y del torso del escucha. El término general para referirnos a la individualidad con la que escuchamos es el de *Función de Transferencia Relacionada con la Cabeza* FTRC (*HRTF: Head Related Transfer Function*). Nuestra capacidad de localización en el círculo horizontal es tal que podemos discriminar hasta un grado de diferencia, lo que se denomina *Mínimo Ángulo Auditivo* (MAA: *Minimum Audible Angle*), y nuestra habilidad para detectarlo decrece progresivamente a los lados y hacia atrás.<sup>10</sup> Un grado corresponde a la disparidad

<sup>8</sup> Conversaciones con compositores electroacústicos en City University, Londres, 2004.

<sup>9</sup> El lector podrá encontrar diversos trabajos teóricos en torno a esta idea en *The language of electroacoustic music* (1986), editado por Simon Emmerson, Basingstoke: The Macmillan Press Ltd.

<sup>10</sup> Holman, *5.1 Channel Surround Sound: Up and Running*, 2000, p. 207.

de 10 milisegundos entre la llegada de un mismo sonido a cada uno de los oídos.<sup>11</sup> LA FIGURA 1 ilustra dicho fenómeno.

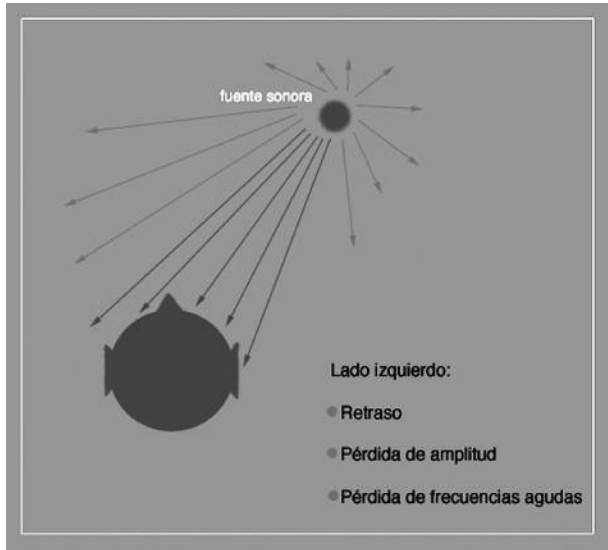


FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE SONIDO.

En el plano vertical la sensibilidad es menor, ya que sólo discriminamos 3 grados verticalmente a diferencia de 1 grado en la horizontal.<sup>12</sup> Aún no se tiene claro cómo funciona este fenómeno, pero se sabe que los hombros juegan un papel importante porque es ahí donde se refleja una buena parte del sonido que llega desde arriba. La percepción de distancia o profundidad es otro factor importante y se refiere a si el sonido se encuentra cerca o lejos de nosotros. El plano vertical obedece asimismo a la diferencia de intensidad entre el sonido directo y el reverberado –recintos cerrados–, así como a la pérdida de frecuencias agudas y amplitud –recintos cerrados y espacios abiertos. Como regla general, entre más lejano está el sonido mayor es su interacción con el recinto y menores los detalles tímbricos.

### Estéreo<sup>13</sup>

Al grabar una fuente sonora con un micrófono de una sola cápsula obtenemos un sonido monoaural, como se muestra en la FIGURA 2. Al proyectar este sonido a través de un altavoz el escucha lo percibe de manera natural con ambos oídos; no obstante, en el sistema que ilustra la figura 2 no se consideraron las diferencias de tiempo de arribo de la señal a los oídos ni las correspondientes pérdidas de amplitud, por lo que se trata de una representación parcial del sonido, como si sólo una parte de la señal hubiera sido capturada y después “encerrada en una caja” –altavoz.

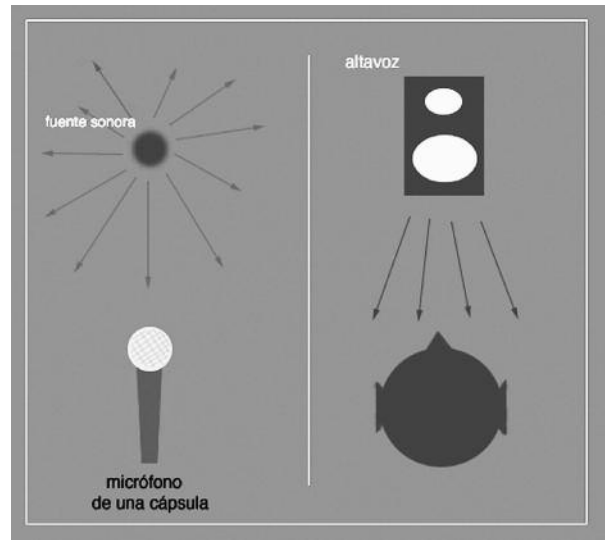


FIGURA 2. GRABACIÓN Y PROYECCIÓN MONOAURAL.

Ahora bien, si duplicamos esa misma señal y la proyectamos a través de dos altavoces, angulados y orientados a un mismo punto donde se encuentra el escucha –FIGURA 3A–, se crea un *fantasma sonoro* entre los dos altavoces; o sea, al centro. Esta práctica produce en el escucha una sensación de espacialidad que algunas personas perciben como estéreo, y si bien a nivel técnico se trata, de hecho, de una reproducción estéreo, la fuente sonora no se origina a partir de una grabación estéreo bi-canal, lo que deja observar una estrategia incorrecta si se toma en cuenta que para crear una impresión más realista deben capturarse, desde un principio, las diferencias de respuesta de cada oído en relación a un mismo sonido.

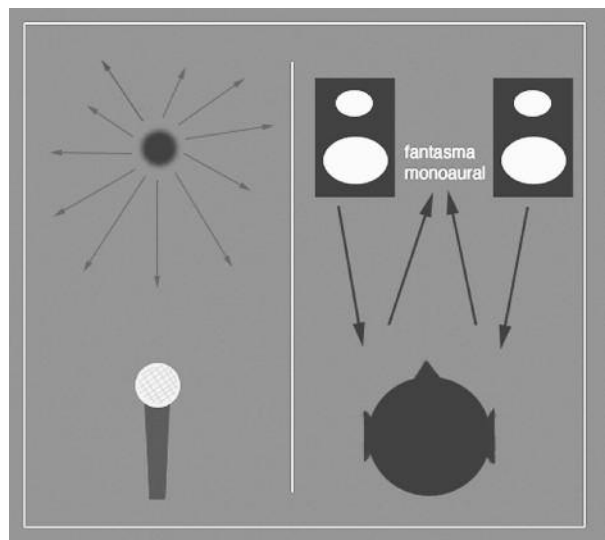


FIGURA 3A. FANTASMA SONORO.

<sup>11</sup> Cook., *Music Cognition and Computerized Sound*, 1999; Moore “A General Model for Spatial Processing of Sounds” *Computer Music Journal* Vol. 7, No.3, 1983, p. 95.

<sup>12</sup> Holman, *op. cit.*, p. 207.

<sup>13</sup> Aunque el término “estéreo” implica “volumen”, y por lo tanto

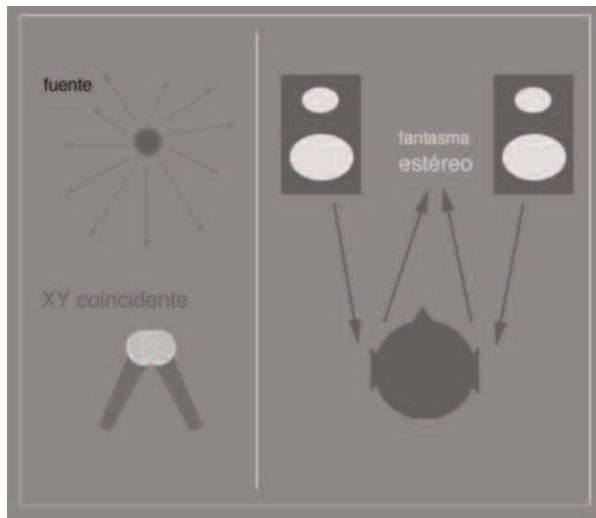


FIGURA 3B. FANTASMA SONORO.<sup>14</sup>

Al utilizar dos micrófonos independientes que representan los dos oídos, el problema se soluciona considerablemente porque se capturan las diferencias de tiempo de arribo de la señal y las correspondientes pérdidas de amplitud y de frecuencias agudas. En la FIGURA 3B se ilustra una técnica de grabación de dos cápsulas de tipo *xy coincidente*. Usando una técnica de grabación de este tipo se obtiene un fantasma sonoro al centro, pero esta vez dicho *fantasma* es estéreo y contiene información acústica suficiente para que la representación del sonido sea, hasta cierto punto, fiel a nuestra percepción. De esta manera hemos llegado al sistema estéreo estándar utilizado por años en la industria y en el hogar. A pesar de sus fundamentos, no siempre se explota este sistema por medio de técnicas de grabación estéreo sino que es común que se utilicen fuentes monoaurales proyectadas a través de los dos canales del sistema. En parte, esta práctica perdura porque una fuente monoaural tiene mayor libertad de movimiento panorámico a la hora de los procesos finales de post-producción, aunque en ocasiones se recurre a ella cuando se ignoran los fundamentos psicoacústicos. Cabe agregar que un sonido monoaural puede moverse con facilidad en el eje *x* -izquierda-derecha- del campo sonoro sin alterar su diseño acústico, logrando a través de dos altavoces un grado de espacialidad, mientras que un sonido estéreo lleva desde un principio información acústica específica respecto a su localización dentro del mismo campo sonoro -algo difícil de alterar después a menos que se cuente con un procesador espacial por computadora. Cabe también recordar que cualquiera que sea el uso que se le dé a los sistemas estéreo, un sistema de dos canales -con excepción de la *holofonía*- sólo puede reproducir experiencias de tipo *espacio acústico observado*.

<sup>14</sup> La "técnica coincidente" debe de llevar 90 grados entre micrófonos.

### Reverberación espacial

La reverberación es un fenómeno que, en recintos cerrados, afecta las tres dimensiones.<sup>15</sup> Una reverberación de tipo local, con sonido directo, puede proyectarse con un par de altavoces, lo que crea un efecto fuerte y "corpulento", mientras que una reverberación de tipo global, con sonido reflejado, se proyecta en el resto de los canales y resulta más débil al perder frecuencias agudas debido a la absorción en el aire y a un leve retraso de entre 5 y 40 milisegundos. La reverberación debe también tomar en cuenta la distancia de la fuente sonora: cuando ésta se encuentra cercana al escucha, la reverberación se distribuye uniformemente en todos los canales, pero a lo lejos la señal reverberante se concentra en la dirección de la fuente. En general, entre más cercana se encuentra la fuente menos se percibe su interacción con la acústica del recinto.

## Tecnologías y sistemas de audio multi-canal

### Tecnologías avanzadas de grabación y de reproducción de audio

Una técnica de grabación estéreo con dos micrófonos -dos cápsulas- no toma en cuenta el *enmascaramiento* del sonido o pérdida de frecuencias agudas resultante de su impacto sobre nuestro rostro, hombros y oídos -*pinna*-, efecto que ha logrado evitarse gracias a la técnica *binaural* de grabación, como ilustra la FIGURA 4.

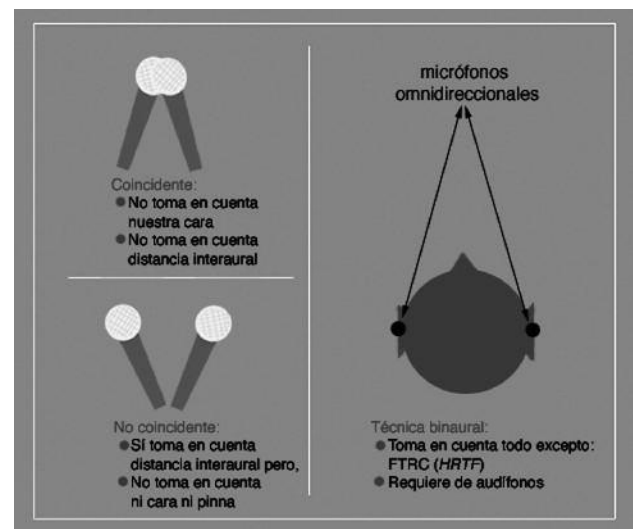


FIGURA 4. GRABACIÓN BINAURAL

El primer trabajo de importancia en este campo fue realizado en los años veinte por Harvey Fletcher en los *Bell Laboratories* de Estados Unidos. La técnica desarrollada por

<sup>15</sup> Véanse aspectos importantes del análisis de este tema en Roads, *Sound Spatialization and Reverberation*, 1996, p. 463.





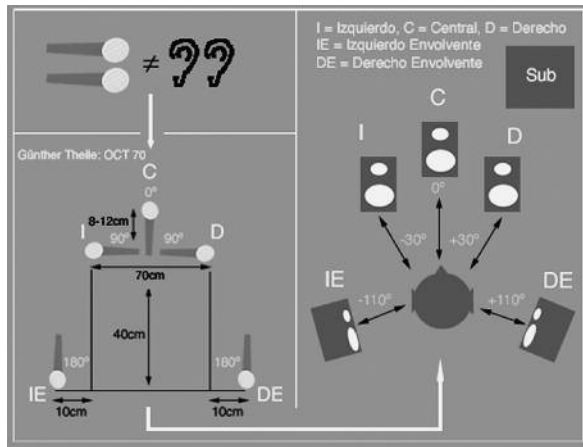





FIGURA 7. AMBISÓNICA<sup>20</sup>

porque escuchamos de manera envolvente y localizamos el sonido de forma tridimensional. En la parte inferior izquierda de la FIGURA 7 se ilustra una técnica de grabación típica del sistema 5.1 que, con variantes, es característico de la industria cinematográfica. A la derecha de la figura se observa la organización correspondiente de altavoces y los ángulos específicos que debe haber entre ellos. El sistema fue creado por Tomlinson Holman<sup>21</sup> y, aun si no considera el círculo vertical –por lo que es bidimensional– el resultado es razonablemente envolvente. Mencionaré que la técnica *ambisónica* permite expandir la *zona dulce* para que más oyentes perciban el *fantasma* sonoro durante un concierto. El canal central que se ubica al frente del sistema 5.1 tiene justamente esta última función, pero sólo la cumple si se utilizan desde el inicio las técnicas de grabación adecuadas. Los EJEMPLOS AUDIO 3.1 (central) , AUDIO 3.2 (laterales: izquierdo y derecho)  y AUDIO 3.3 (trasero: izquierdo envolvente y derecho envolvente)  son muestras de sonido capturado de esta manera. Nótese la diferencia de amplitud, ecualización y reverberación en cada ejemplo, todos producto de una técnica de grabación multi-direccional similar. El lector puede reproducir estos sonidos en un sistema 5.1 y notar el envolvimiento sonoro y la expansión de la *zona dulce*.

Finalmente, una tecnología nueva llamada *síntesis de frente de onda* (*WFS: Wave Field Synthesis*), inventada en 1988 en la Universidad de Delft, Holanda, y basada en el principio de Huygens,<sup>22</sup> propone un concepto totalmente nuevo.

El *frente de onda* del sonido es capturado usando, al igual

<sup>20</sup> El diseño de esta imagen fue copiado de: Theile, 2001, p. 27 (técnica de grabación) y Holman, 2000, p. 45 (arreglo de altavoces).

<sup>21</sup> Holman, 2000.

<sup>22</sup> El físico Christian Huygens explica desde el siglo XVII que el *frente de onda* de la luz es la suma de mini-ondas esféricas secundarias que se generan en cualquier punto de dicho frente de onda a la misma velocidad y un instante antes, una idea aplicable al sonido.

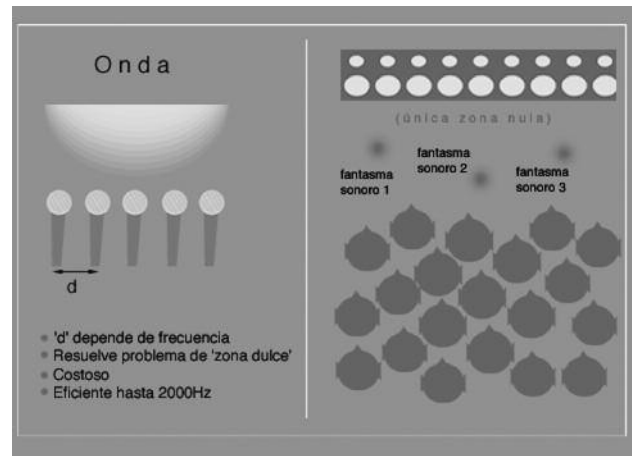


FIGURA 8. SÍNTESIS DE FRENTE DE ONDA

que en los procedimientos anteriores, un arreglo de múltiples micrófonos. Como muestra la FIGURA 8, el arreglo multi-micrófono es frontal y la distancia ‘d’ entre las cápsulas es un factor importante: esta distancia determina el rango de frecuencias que está siendo grabado, por lo que se requiere de una distancia equivalente entre altavoces para la reproducción del mismo.

La *síntesis de frente de onda* tiene la gran ventaja de resolver el problema de la *zona dulce*, es decir, genera una fuente sonora virtual como si se tratase de la fuente misma, localizable en el espacio por cualquier persona sin importar su posición en el sistema –exceptuando aquella que se encuentra entre la fuente sonora virtual y los altavoces. Entre sus limitaciones, puede señalarse que esta tecnología no es todavía capaz de reproducir con fidelidad el efecto por arriba de los 2000 Hz; por otra parte, las pruebas experimentales han sido restringidas hasta hoy al plano horizontal y su realización es costosa. Sin embargo, la capacidad del sistema es indiscutible y a diferencia de otras tecnologías posee un futuro prometedor dentro de las salas de concierto. El autor de este artículo trabajó en España durante un mes con un *sistema de síntesis de frente de onda* experimental de noventa y seis canales, desarrollado por José Javier López Monfort, de la Universidad Politécnica de Valencia, con lo que pudo confirmar directamente las ventajas y limitaciones mencionadas más arriba.

### *Sistemas de la industria cinematográfica*

En el sistema 5.1, el canal denominado *1* está orientado a las frecuencias graves por debajo de los 150 Hz, mismas que son amplificadas por separado, 10dB por encima de las frecuencias medias y agudas; esta amplificación responde al fenómeno psicoacústico que hace que percibamos las frecuencias graves con menor intensidad. A raíz de este sistema se han desarrollado el 6.1 *DTS-ES*<sup>23</sup> –3

altavoces frontales y 3 traseros– y el 7.1 *SDDS*<sup>24</sup> –4 altavoces frontales y 3 traseros–, entre otros, aunque el más notable es el reciente 10.2 –también inventado por Tomlinson Holman– y que se observa en la FIGURA 9.

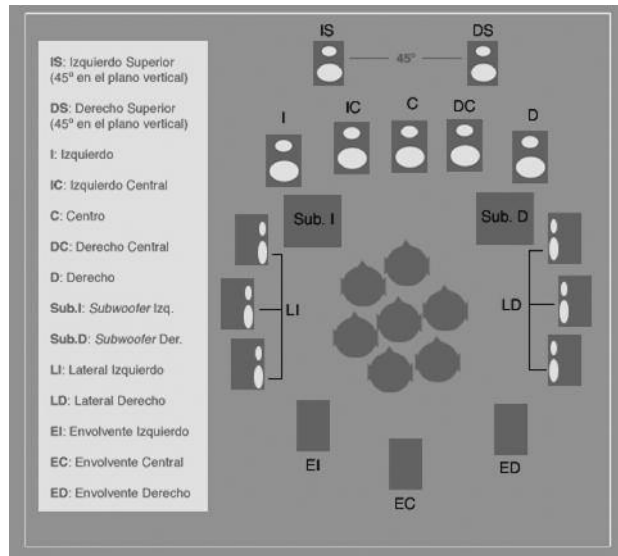


FIGURA 9. SISTEMA MULTI-CANAL 10.2<sup>25</sup>

En este sistema se aumentan canales frontales, laterales y traseros, pero sus contribuciones más importantes son el uso de dos altavoces frontales elevados a 45° y la incorporación de dos *subwoofers* o canales de frecuencias graves –de ahí el ‘.2’. La existencia de los altavoces elevados se deriva del conocimiento psicoacústico que revela que los reflejos tempranos más importantes de la reverberación son aquellos que provienen del techo, normalmente muy reflejante. Asimismo, el diseñador de este sistema decidió utilizar dos canales de frecuencias graves con bajos complementarios en posición estéreo que, de acuerdo con el diseñador de esta tecnología, aunque son difíciles de localizar perceptivamente ayudan a crear un mejor envolvimiento global. El sistema 10.2, apenas implementado en algunas salas de concierto en el mundo, es probablemente el futuro más próximo de la industria cinematográfica.

### Sistemas de la música experimental

Algunos sistemas actuales de particular importancia son el *Acousmonium*, –inventado en Francia en 1974 por François Bayle–, el *Cybernéphone* –originalmente llamado *Gmebaphone*, inventado en el Instituto de Música Electroacústica de Bourges, Francia, en 1973– y el *BEAST*

<sup>23</sup> Digital Theater Systems – Extended Surround.

<sup>24</sup> *Sony Dynamic Digital Sound*.

<sup>25</sup> El diseño de esta imagen fue copiado de: “Sistema multi-canal 10.2 de la industria cinematográfica”. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2006.

–Birmingham Electroacoustic Sound Theatre, desarrollado en Inglaterra en 1982. Los dos primeros utilizan más de 60 altavoces y tienen en común la búsqueda de perspectivas tridimensionales, múltiples ángulos y figuras espaciales variadas; el tercero, muy similar en intenciones estéticas y en construcción, pero de menores proporciones, será tomado como caso de análisis para este artículo.

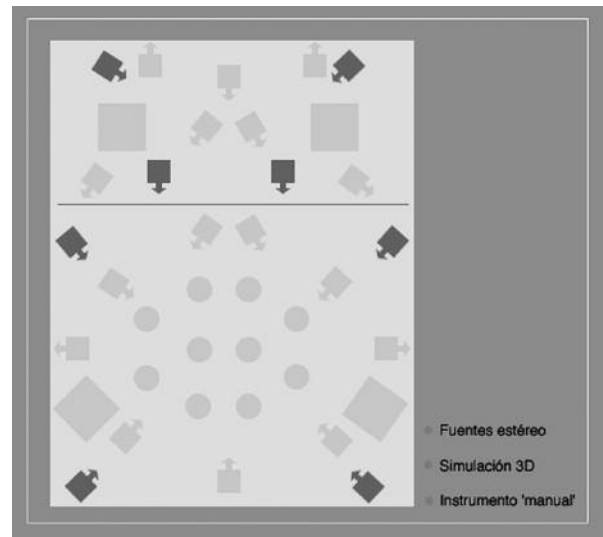


FIGURA 10. *TEATRO DE SONIDOS ELECTROACÚSTICOS DE BIRMINGHAM*<sup>26</sup>

El Teatro de Sonidos Electroacústicos de Birmingham fue desarrollado por el compositor Jonty Harrison. Utiliza hasta 30 canales de altavoces amplificados por separado y organizados en pares con funciones específicas de acuerdo a sus posiciones. Cada uno de estos pares lleva consigo los dos canales acústicos de la estereofonía original de la mezcla, algo que se puede deducir fácilmente en la FIGURA 10 al observar la simetría del sistema. La excepción a lo anterior son los dos canales centrales localizados justo al centro superior y al centro inferior, los cuales llevan una mezcla monoaural. Además de todo esto, se utilizan árboles de frecuencias agudas –representados como círculos– especialmente diseñados para el sistema y suspendidos por encima del público. Lo último obedece al fenómeno acústico de que cuando el sonido nos llega desde arriba podemos localizarlo únicamente a través de sus frecuencias agudas. El canal de frecuencias ultra-graves en este sistema está a cargo de los cuatro altavoces representados como cuadros grandes en la FIGURA 10 al observar la simetría del sistema. La excepción a lo anterior son los dos canales centrales localizados justo al centro superior y al centro inferior, los cuales llevan una mezcla monoaural. Además

<sup>26</sup> El diseño de esta imagen fue copiado de: “Birmingham Electroacoustic Sound Theatre”. Jonty Harrison

de todo esto, se utilizan árboles de frecuencias agudas –representados como círculos– especialmente diseñados para el sistema y suspendidos por encima del público. Lo último obedece al fenómeno acústico de que cuando el sonido nos llega desde arriba podemos localizarlo únicamente a través de sus frecuencias agudas.<sup>27</sup> El canal de frecuencias ultra-graves en este sistema está a cargo de los cuatro altavoces representados como cuadros grandes en la FIGURA 10.

El corazón del sistema *BEAST* son ocho altavoces llamados *los ocho principales (main eight)* representados en color oscuro –VER FIGURA 10– y divididos en cuatro pares: distantes frontales, principales frontales, anchos frontales y pares de traseros. El lector puede notar la línea horizontal en el diagrama que divide el escenario –al frente del escucha y ocupado únicamente por altavoces– del área ocupada por el público –rodeada por altavoces y árboles de frecuencias agudas. También existen múltiples pares de apoyo adicional a *los ocho principales* para la creación del efecto de distancia o profundidad –resto de altavoces en la figura. El compositor o espacializador puede, a través de una consola especial, controlar por separado el nivel de cada par de altavoces, esculpiendo el espacio del sonido y proyectándolo de acuerdo al drama mismo de su composición.

La fuente del sonido, al igual que en los sistemas franceses, es una mezcla estéreo de dos canales, cualidad de la cual derivamos la siguiente pregunta: tomando en cuenta algunas de las tecnologías anteriores, en donde capturamos desde un principio el sonido de forma multi-direccional, ¿tiene sentido el uso de fuentes estéreo en sistemas de difusión sonora? De acuerdo con el propio Harrison, la función de los altavoces distantes de los ocho principales –los últimos dos de arriba en color oscuro en la FIGURA 10– es crear el efecto de distancia cuando el compositor así lo desee. Asimismo, Harrison observa que estos altavoces tienen la función de expandir la imagen estéreo.<sup>28</sup> Nótese que dichos altavoces están severamente angulados en relación a la audiencia, lo que provoca una baja de frecuencias agudas al no poder percibirse su sonido directo y un alejamiento del fantasma sonoro al haberse desplazado el punto de convergencia; sin embargo, al combinar esta cualidad con el siguiente par de altavoces –se muestran de arriba hacia abajo en tono oscuro en la FIGURA 10– que llevan los mismos canales acústicos –izquierdo y derecho de la estereofonía– y que están enfocados al público, se expande la imagen estéreo al frente del escucha, por lo que ésta funciona mejor para un mayor número de personas en el público. De aquí se infiere que es posible

usar una fuente de sonido de dos canales y lograr a través de este tipo de sistemas una impresión acústica de tipo multi-direccional. De hecho, esta compleja estrategia manual de múltiples altavoces permite que el sistema sea flexible y se adapte a distintas salas de concierto al reducir o aumentar el número de altavoces, ángulo y distancia entre ellos sin necesidad de rediseñar nuestra fuente de sonido y sus canales acústicos. No obstante, sigue vigente en este sistema el problema de reproducir y sincronizar trayectorias complejas y rápidas de movimiento sonoro con el drama de una determinada composición y, a pesar de que debemos reconocer sus ventajas, las orquestas de altavoces requieren, precisamente, de un elevado número de ellos debido a que sus fuentes son estéreo. Por lo tanto, consideramos que resulta preferible investigar diseños acústicos más rigurosos y multi-direccionales que a su vez dependan de un menor número de altavoces y que incorporen en su práctica la automatización de las trayectorias sonoras.

## Conclusiones

Hasta aquí hemos cubierto las bases tecnológicas que conforman algunos de los principales sistemas de audio existentes y que se desarrollan actualmente en diferentes partes del mundo. Dentro del aspecto puramente tecnológico, concluimos que se prevé tener en el futuro una combinación de las tecnologías expuestas, con el fin de aprovechar las ventajas que ofrece cada una de ellas. Como un ejemplo de lo anterior, ensayaremos el diseño de un sistema de audio que integre algunos de los sistemas expuestos en este artículo:

Sólo la *síntesis de frente de onda* –SFO– es capaz de resolver el problema de la *zona dulce*, por lo que es una tecnología ideal para la sala de concierto, lo que puede apreciarse en la FIGURA 11; sin embargo, como ya se explicó, la SFO tiene problemas de respuesta de frecuencia que podrían compensarse con un sistema de audio multi-canal basado en la *ambisónica*, y acaso en parte aliado a la *ambiofonía*.

Este sistema experimental estaría sustentado en una técnica de síntesis de *frente de onda* frontal. No sería necesario un sistema de *síntesis de frente de onda* completamente envolvente en el plano horizontal porque, como ya mencionamos, nuestra percepción disminuye progresivamente hacia los lados y hacia atrás; no obstante, un segundo sistema multi-canal complementario con sonido lateral, sonido trasero, sonido vertical, vertical-frontal y vertical-trasero, basado en un diseño de audio de tipo *ambisónico*, conformaría la totalidad del sistema y ofrecería un sonido de mejor calidad a un menor costo. Las frecuencias

<sup>27</sup> Rumsey, 2001.

<sup>28</sup> Harrison, 1999a.

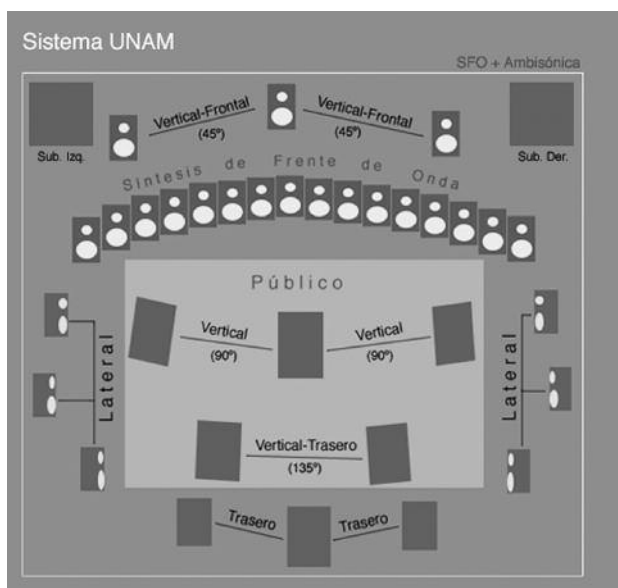


FIGURA 11. SISTEMA SFO + AMBISÓNICA

graves (40-200 Hz) y las frecuencias medias bajas (200-800 Hz), difíciles de localizar por el escucha, estarían siempre a cargo del sistema de *síntesis de frente de onda* frontal, proyectándose como si fueran la fuente misma –o bien parte de ella; las frecuencias sub-graves (-40 Hz) estarían a cargo de dos o más *subwoofers*,<sup>29</sup> en estéreo, para una mayor espacialidad promedio –como sucede en el sistema 10.2–; un sonido que se localice al frente y que tenga un rango de frecuencias amplio sería, hasta los 2000 Hz, proyectado por el mismo sistema SFO frontal, pero a partir de los 2000 Hz, tendrían que usarse técnicas de grabación y de análisis multi-direccionales de tipo *ambisónico*. Cualquier sonido localizado también al frente podría apoyarse en el resto de los altavoces del sistema para reconstruir el envolvimiento de su reverberación.

El sonido lateral y el sonido trasero, cuyo número de altavoces –pero no de canales acústicos– podría variar dependiendo del tamaño de la sala de concierto, o bien del área de público total, cerraría el círculo en el plano horizontal. La resolución de un sonido moviéndose circularmente en este plano sería excelente al frente y limitada a los lados y hacia atrás, correspondiendo así a la forma en que escuchamos. Los altavoces para el sonido vertical, vertical-frontal y vertical-trasero –vistos desde arriba en la FIGURA 11– estarían a cargo tanto de los reflejos tempranos de la reverberación del “techo” de un sonido, como de la localización de los sonidos cuyas

<sup>29</sup> Recientes presentaciones del autor en conferencias internacionales de música electroacústica, como por ejemplo el Foro de Música Nueva Manuel Enríquez de México en Mayo de 2008, concluyen que, por razones musicales, debemos incluir por lo menos cuatro *subwoofers*: frente, lados y atrás. Esto, con el objetivo de crear la impresión de cuerpo completo para cualquier sonido en cualquier dirección.

frecuencias dominantes sean agudas (+5000 Hz). Los altavoces verticales también se harían cargo de la triangulación de cualquier sonido en un punto dado en el espacio. Lo anterior, desde luego, sería imperfecto debido a que volveríamos a caer en los problemas de convergencia de altavoces: si quisiéramos que el público escuchara un sonido localizado justo en el punto de convergencia entre el sistema de *síntesis de frente de onda*, de los altavoces verticales-frontales y de los altavoces laterales izquierdos, el *fantasma sonoro* que resultaría de una triangulación así funcionaría únicamente dentro de la *zona dulce* de dichos altavoces. Sin embargo, dado el considerable número de altavoces con los que contamos, tendríamos suficientes fuentes físicas de sonido en el espacio como para considerar que la experiencia sonora en este sistema es tridimensional. Debe mencionarse, por otro lado, que a diferencia de los sistemas de tipo *orquesta de altavoces*, donde los *árboles* de frecuencias agudas proyectan el sonido elevado y son los únicos en hacerlo –mini-altavoces por encima del escucha que sólo reproducen frecuencias agudas: *tweeters*–, el sonido vertical en nuestro sistema sería también capaz de reproducir las frecuencias medias; aunque esto último va en contra de algunas teorías generalizadas de la psicoacústica, nos atrevemos a proponer que estas frecuencias medias sí tienen un efecto musical que justificaría su incorporación al sistema. Finalmente, el sonido que proviene por debajo del escucha no estaría considerado en nuestro diseño. A pesar de que posee un potencial creativo, el sonido inferior pasará a segundo término hasta que se investigue a fondo cómo calibrar la relación entre la *síntesis de frente de onda* y la *ambisónica*.

Nuestra propuesta es superior en número de altavoces a la de la industria cinematográfica aunque menor a la de las *orquestas de altavoces*, y se estima que este sistema, de tipo multi-canal envolvente y tridimensional calculado para 16 canales acústicos más *síntesis de frente de onda*, cubriría eficientemente áreas de concierto de aproximadamente 400 a 500 personas.<sup>30</sup> De esta manera hemos demostrado la utilidad de las distintas técnicas de audio que se encuentran a nuestro alcance, y del manejo de la terminología necesaria para comprender su funcionamiento.

## Glosario

Se exponen a continuación los principales términos y conceptos referidos en este texto con objeto de que el lector pueda consultarlos por separado.

<sup>30</sup> Para públicos y salas de mayores dimensiones sería necesario hacer estudios técnicos adicionales.

- *Acusmático*. Experiencia de escuchar un sonido en ausencia de su causa real, es decir, sin tener contacto visual con ella. Esta condición nos obliga a imaginar la causa del sonido. De aquí se derivan términos secundarios como *visión sonora* o *escena sonora*.
- *Canal acústico*. Se refiere a una de las pistas de audio en una grabación multi-direccional en la que sólo se proyecta una dirección acústica.
- *Círculo horizontal y círculo vertical*. Círculos imaginarios en los respectivos planos espaciales donde el escucha es el centro.
- *Difusión automatizada o espacialización automatizada*. Espacialización fija pre-grabada en el estudio.
- *Difusión manual o espacialización manual*. Espacialización en concierto por medio de una consola de audio.
- *Espacio acústico observado*. Reverberación no envolvente representada por los sistemas frontales.
- *Espacio acústico envolvente*. Reverberación que nos rodea en un espacio cerrado.
- *Estéreo*. Existe una confusión en el uso de esta palabra. En los diccionarios comunes encontramos que se utiliza como sinónimo de *bi-canal* (dos canales) y también de tridimensionalidad. En su origen griego esta palabra significa "sólido", lo que lo hace tridimensional –un sólido implica "volumen". Sin embargo, en el contexto cotidiano se utiliza más como sinónimo de lo *bi-canal* que de lo *tridimensional*, y en el audio multi-canal lo *bi-canal* no implica *tridimensionalidad*.<sup>30</sup> Por lo tanto en este artículo optamos por el término estéreo como sinónimo de lo *bi-canal*, mientras que llamaremos como tal a lo *tridimensional*.
- *Fantasma sonoro*. Sonido *flotante* que se da en un punto de convergencia entre altavoces al que le atribuimos una sensación de percepción visual. Dicho punto se llama *zona dulce* –en inglés *sweet spot*. La *imagen* de un sonido puede darse, psicológicamente, ante cualquier tipo de reproducción sonora.
- *Fuente monoaural*. Sonido capturado con una sola cápsula de micrófono. Es la forma más simple de captura sonora.
- *Fuente bi-canal/estéreo*. Sonido capturado usando dos micrófonos de cápsula uni-direccional en dos direcciones independientes dirigidas a una misma fuente o escena sonora a un ángulo no mayor de 180 grados. Esta fuente debe de ser proyectada a través de dos altavoces para simular, razonablemente bien, la forma binaural en que escuchamos.
- *Fuente multi-direccional*. Sonido capturado usando múltiples micrófonos en múltiples direcciones para representar la reverberación envolvente en un espacio cerrado, así como la localización de un sonido. Es la resultante de más de dos direcciones independientes de captura y su intención es representar la *tridimensionalidad* de un sonido por medio de sistemas multi-altavoz.
- *Instrumento multi-canal*. Aparato multi-altavoz.
- *Sonido bi-canal frontal* (estéreo). Bidimensional virtual, respecto a profundidad o distancia– con posibilidades de tridimensionalidad virtual –respecto a la relación arriba-abajo/agudo-grave–; espacio acústico observado.
- *Sonido envolvente bidimensional*. Posibilidades de tridimensionalidad virtual; espacio acústico envolvente.
- *Sonido envolvente tridimensional*. Tridimensionalidad real y espacio acústico envolvente.
- *Sistema multi-canal*. Sistema multi-altavoz, como mínimo superior al sistema estéreo estándar de dos canales.
- *Sonido multi-canal frontal*. Bidimensional virtual con posibilidades de tridimensionalidad virtual; espacio acústico observado; expansión del *fantasma sonoro*.
- *Tridimensional*. Significa que se necesitan tres direcciones independientes para definir un punto en el espacio. Desde la perspectiva del escucha éstas son: izquierda-derecha –eje x–, adelante-atrás –eje y–, arriba-abajo –eje z.

## Bibliografía

Austin, L., "Sound Diffusion in Composition and Performance: An Interview with Denis Smalley", *Computer Music Journal*, Vol.24, No. 4, 1998.

Bosi, M., "A Real-Time System for Spatial Distribution of Sound", en *Center for Computer Research in Music and Acoustics*, USA: Stanford University, Report No. STAN-M-66, 1990.

Buxton W., Fedorkow G., Smith K.C., "A Computer-Controlled Sound Distribution System for the Performance of Electroacoustic Music", *Computer Music Journal*, Vol. 2, No. 3, 1990.

Clozier, C., "The Gmebaphone Concept and the Cybernéphone Instrument", *Computer Music Journal*, Vol. 25, No. 4, Cambridge, MA: The MIT Press, 1997, pp. 81-90.

Cook, P.R., *Music Cognition and Computerized Sound*, EE.UU.: The MIT Press, 1999.

Fishman-Johnson, E., "The Movement of Sound in Space: An Update", *Contemporary Music Forum*, Vol. 5-6, MidAmerican Center for Contemporary Music, 1993-94.

García-Valenzuela, P., "Aesthetic and temporal forces in electroacoustic composition". Tesis Doctoral, Londres: City University, 2003.

Gerzon, M., "Surround Sound Psychoacoustics", *Wireless World*, Vol. 80, No.12, pp. 483-486, 1974.

Harrison, J., "Diffusion: Theories and Practices, with Particular Reference to the BEAST System", *eContact!*, Vol. 2, No. 4, Montreal: CEC, 1999.

\_\_\_\_\_, "Imaginary Space - Spaces in the Imagination", *eContact!*, Vol. 3, No.2, Montreal: CEC, 1999b.

Holman, T., *5.1 Channel Surround Sound: Up and Running*, EE.UU.: Focal Press, 2000.

Koenig, W., "Subjective Effects in Binaural Hearing", *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 22, No. 1, 1950, pp. 61-62.

Loy, G., "About Audium - A Conversation with Stanley Shaff (A Theatre of Sound - Sculptured Space)", *Computer Music Journal*, Vol. 9, No.2, Cambridge, MA: The MIT Press, 1985, pp. 39-44.

Malham, D. G., "Toward Reality Equivalence in Spatial Sound Diffusion", *Computer Music Journal*, Vol. 25, No. 4, Cambridge, MA: The MIT Press, 2001, pp. 31-38.

Meyer, L., Cooper, G., *The Rhythmic Structure of Music*, Chicago: University of Chicago Press, 1960.

Moore, R. F., "A General Model for Spatial Processing of Sounds", *Computer Music Journal*, Vol. 7, No.3, Cambridge, MA: The MIT Press, 1983.

More, A., Moore, D., Mooney, J., "M2 Diffusion - The Live Diffusion of Sound in Space", *eContact!*, Vol. 7, No.4, Montreal: CEC, 2004.

Roads, C., "Sound Spatialization and Reverberation", *The Computer Music Tutorial*, Cambridge, MA: The MIT Press, 1996, pp. 449-492.

Rolfe, C., "A Practical Guide to Diffusion", *eContact!* Vol. 2, No. 4, Montreal: CEC, 1999.

Rumsey, F., *Spatial Audio*, Reino Unido: Focal Press, 2001.

Schroeder, M.R., "Natural Sounding Artificial Reverberation", *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol. 10, No. 3, 1962, pp. 219-223.

Stautner, J., Puckette, M., "Designing Multi-Channel Reverberators", *Computer Music Journal*, Vol. 6, No. 1, 1982.

Theile, G., "Multichannel Natural Music Recording Based on Psychoacoustic Principles", Versión extendida de la ponencia presentada en *Audio Engineering Society 19<sup>th</sup> International Conference*, Alemania, 2001.

\_\_\_\_\_, "Wave Field Synthesis - A Promising Spatial Audio Rendering Concept", memoria del *7<sup>th</sup> International Conference on Digital Audio Effects (DAFx'04)*, Italia: Nápoles, 2004.

Truax, B., "Composition and Diffusion: Space in Sound in Space", *Organised Sound*, Vol.3, Reino Unido: Cambridge University Press, 1998, pp. 141-146.

Wyatt, S. A., "Investigative Studies on Sound Diffusion/Projection", *eContact!*, Vol. 2, No. 4, Montreal: CEC, 1999.

Zvonar, R., "A History of Spatial Music", *eContact!*, Vol. 7, No.4, Montreal: CEC, 2005.

## Fonografía

AUDIO 1 (binaural). Bajo licencia de Freesound. By Stomp.  
Factory X Operatios.mp3.  
<http://freesound.iaa.upf.edu/usersViewSingle.php?id=62289>.  
<http://freesound.iaa.upf.edu/samplesViewSingle.php?id=18867>. Octubre 11, 2006.

AUDIO 2 (holofónico). Acceso libre.  
Cereni - Holophonic.mp3 (objet audio/mpeg).  
[http://js.scoopeo.com/technologie/cereni\\_holophonic\\_mp3\\_\(objet\\_audio\\_mpeg\)](http://js.scoopeo.com/technologie/cereni_holophonic_mp3_(objet_audio_mpeg)). Septiembre 2006.

AUDIO 3.1 (Central), 3.2 (Laterales: izquierdo y derecho) y 3.3 (Trasero). Por Pablo García Valenzuela, © 2005 Pablo Gav.

## Fuentes de Internet

BAYLE, F. "The Acousmonium", 1974-2006.  
<http://emfinstitute.emf.org/exhibits/acousmonium.html>  
Consultado Febrero 2006.

GLASGAL, R. "Ambiophonics", (2000-05).  
[www.ambiophonics.org](http://www.ambiophonics.org) Consultado Mayo 2006.

[http://www.irt.de/wittek/hauptmikrofon/theile/Multich\\_Recording\\_30.Oct.2001\\_.PDF](http://www.irt.de/wittek/hauptmikrofon/theile/Multich_Recording_30.Oct.2001_.PDF) Consultado Diciembre 2005.  
[http://dafx04.na.infn.it/WebProc/Proc/P\\_125.pdf](http://dafx04.na.infn.it/WebProc/Proc/P_125.pdf).  
Consultado Enero 2006.  
<http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=10.2&oldid=71413853>. Consultado Abril 2006.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Holophonics>. Consultado Mayo 2007 y Noviembre 2009.

WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. "10.2", *Wikipedia, The Free Encyclopedia* 2006.