

Hugo Solís García

Escuela Nacional de Música

Instituto de Investigaciones Estéticas

UNAM

Asesor: Dr. Julio Estrada; proyecto MUSIIC

El espacio físico como variable estructural en música

Introducción:

Este trabajo tiene su génesis en la audición consciente de nuestro medio ambiente. Los sonidos que se generan en nuestro alrededor provienen de distintas direcciones y distancias que somos capaces de percibir. La suma de todos los sonidos de nuestro entorno crean en nuestra mente una imagen sonora en tres dimensiones. De esta apreciación sonora del espacio físico me surgió la inquietud de emplear la ubicación espacial del sonido como una variable musical; entendiendo como tal a cualquiera de los elementos que pueden ser manipulados en el campo musical como lo son: las alturas, las dinámicas, los tímbrs, entre otros.

Con esta inquietud y apoyado por el Dr. Julio Estrada elaboré un primer proyecto de trabajo. A medida que reunía información bibliográfica y desarrollaba una serie de pruebas sonoras muy sencillas en donde no obtenía los resultados deseados, me di cuenta de que era necesario redireccionar el proyecto tanto en el aspecto teórico como en el práctico. De esta forma surge la necesidad de una investigación en el campo de la físico-acústica que permitiera entender los elementos básicos sin los cuales ninguna experimentación posterior tendría resultados satisfactorios. Después de tener claros muchos aspectos teóricos de la físico-acústica, comprendo porqué no había obtenido los resultados deseados en los primeros experimentos prácticos y decido modificar también los procedimientos y objetivos de los experimentos sonoros.

Es muy importante aclarar, que este no pretende ser un artículo que aporte ideas originales en el área de estudio, sino una explicación de lo que he ido observando con las lecturas y los experimentos electroacústicos que

he realizado, con el fin de que los lectores, ya sean compositores o instrumentistas, conozcan las distintas posibilidades que ofrece este campo y decidan hacer uso de él tanto en la composición como en la interpretación de música existente.

Este artículo se encuentra dividido en dos secciones; la primera detalla el estudio del sonido y su relación con el espacio desde un punto de vista físico-acústico. La segunda consiste en una investigación de índole musical, en donde el espacio es considerado una variable más de este lenguaje, en estrecha relación con el resto de los elementos musicales. Esta parte del trabajo se acompaña de diversos ejemplos musicales que es muy conveniente escuchar para una mejor comprensión de las propuestas de este artículo. Dentro de esta última sección, dedicamos una parte al estudio de la “teoría interválica” y a su aplicación en el área de la espacialidad del sonido.

Antecedentes histórico:

La espacialización del sonido anterior al S. XX:

La concepción de direccionalidad del sonido en el espacio es tan antigua como el hombre mismo; la naturaleza de este fenómeno sonoro y las

Resumen:

Este artículo plantea la posibilidad de considerar el espacio físico como un elemento musical tal como la altura o la dinámica. Para ello explica primeramente la relación sonido-espacio desde un punto de vista físico-acústico.

Posteriormente se exponen ejemplos sencillos en donde el espacio juega un papel de igual valor e importancia al que tienen los otros elementos musicales.

El texto tiene la finalidad de divulgar, entre compositores e intérpretes, distintas ideas relacionadas con el espacio físico visto como una variable musical.

características de nuestro sentido auditivo nos han permitido, como a muchos otros animales, detectar con claridad el "epicentro" de un sonido determinado. Sin embargo, el aprovechamiento estético de este elemento del sonido se encuentra completamente rezagado del resto de los elementos sonoros. Personalmente creo que la preocupación por considerar la direccionalidad del sonido como otro elemento musical cualquiera, ha estado latente a lo largo de la historia musical pero, factores de índole técnico han ocasionado dicho rezago.

Esta preocupación puede verse, por ejemplo, en la tradición polioral que floreció en Italia y Alemania entre 1515 y 1650 en donde los cantos se interpretaban desde dos o más lugares diferentes. Diversos compositores de los siglos XVIII y XIX escriben música, generalmente de programa, en donde se emplean los recursos de la orquesta para crear ilusiones de espacialidad sonora. Compositores como Beethoven en su obertura *La consagración de la Casa, op 124.*; Berlioz en su *Sinfonía fantástica*; Gustav Mahler en el final de su *Sinfonía n° 2*, son algunos ejemplos del gran número de compositores que han tenido en algún momento cierta preocupación, de una u otra manera, por la espacialización del sonido.

En el ramo de la electroacústica, encontramos que la primer grabación utilizando múltiples canales de audio para dar un efecto de espacialidad ocurrió hace más de un siglo. Clément Ader utilizó varios sistemas de transmisión y recepción telefónica para retransmitir el sonido de eventos externos dentro de un lugar cerrado, creando un enorme entusiasmo entre el público de la Exhibición de Electricidad de París en 1881.

La espacialización del sonido en el S. XX:

En este siglo observamos una preocupación cada vez mayor por diversos aspectos musicales que en épocas anteriores habían estado olvidados; entre ellos está, obviamente, la espacialización del sonido. Encontramos grandes aportaciones en la música instrumental pero sobre todo en el área de la electroacústica en donde se da una gran revolución gracias a los adelantos tecnológicos. Con el fin de mostrar algunas de las ideas más importantes de este siglo referentes a la espacialización del sonido; citaré experimentos y composiciones, tanto instrumentales como

electroacústicas, que tengan una importancia ya sea en el campo de la físico-acústica ó en el campo de la composición musical.

En 1920 un sistema de audífonos estereofónicos se desarrolla por Harvey Fletcher y su equipo de la Bell telephone Laboratories. Posteriormente, esa misma compañía, desarrolla un sistema que emplea una "cortina" de micrófonos dispuestos frente a una fuente sonora que tiene su correspondiente con una "cortina" de bocinas. La intención era recrear la espacialidad original del sonido. Posteriores investigaciones permitieron obtener los resultados similares con solo tres micrófonos dispuestos a la izquierda, en el centro y a la derecha de la fuente de sonido. Ayudados por Leopold Stokowski se obtuvieron excelentes grabaciones estereofónicas de su orquesta en 1932.

Por esas mismas fechas, en la compañía EMI, Alan Blumlein trabaja en otro sistema de grabación que continúa empleándose hasta nuestros días. Este sistema se basa en la creación de una ilusión convincente del entorno sonoro original con solo dos bocinas; todo a través de una grabación con dos micrófonos direccionales dispuestos uno enfrente del otro.

Estos sistemas de grabación fueron poco utilizados en los siguientes años debido a las limitaciones técnicas de los aparatos de grabación. La siguiente gran aportación la podemos observar en la película *Fantasia* de Walt Disney producida en 1939. Aquí, Stokowski y junto con un equipo de la RCA y de Disney desarrollan una grabadora de nueve tracks que permite, con 33 micrófonos, grabar a la orquesta desde distintos lugares. En la presentación cinematográfica una versión de tres canales (de los ocho utilizados en la grabación), fue utilizada en sincronía con la película. La intención original era la de reproducir la música en un sistema de más de 90 bocinas distribuidas atrás de la pantalla y alrededor del público. Pequeñas dentaduras en la orilla de la cinta activaban un mecanismo que permitía enviar determinado sonido a determinada zona del espacio, de tal forma que en determinado momento se obtenía por ejemplo una voz al frente del público, mientras el coro se acercaba lentamente de la parte trasera hacia adelante.

Durante los primeros años de los cincuentas, compositores pertenecientes a las nuevas corrientes musicales relacionadas con la electrónica, incluyendo a la música concreta, se interesan enormemente en las posibilidades de distribuir y desplazar el sonido en el espacio dando lugar a numerosos experimentos. En 1951, Jacques Poullin trabaja en París en el *potentiomètre d'espace*, sistema para distribuir el sonido entre cuatro bocinas comúnmente dispuestas dos adelante, una arriba y una atrás del público. Este sistema permitía al intérprete posicionar un sonido con solo mover un pequeño transmisor entre varios receptores dispuestos de manera semejante a las bocinas.

En 1956 Stockhausen dice de su obra *Gesang der Jünglinge*: "en esta composición, por primera vez, la dirección y el movimiento del sonido en el espacio, es manipulado por un músico, abriendo una nueva dimensión en la experiencia musical" (Stockhausen, 1956). En esta obra Stockhausen pretende emplear cinco grupos de bocinas, distribuidas cuatro alrededor del público y una arriba; sin embargo en el estreno de la obra no es posible y el quinto grupo queda al centro y enfrente del público.

Uno de los ejemplos más significativos de música espacial de los años cincuentas es el *Poème Electronique* de Edar Varèse. En esta obra, presentada en el Pabellón Philips en 1958 y visitada por más de dos millones de personas, fueron empleadas 425 bocinas y 15 grabadoras para obtener un efecto de movimiento continuo del sonido en varias direcciones.

Numerosos intentos por diseñar sistemas que permitan una sencilla manipulación del sonido en el espacio se han ido elaborando desde hace ya mucho tiempo, incluyendo sistemas como el empleado en 1960 por Stockhausen en su obra *Kontakte*. En las últimas décadas y gracias al empleo de sistemas de cómputo, ha sido posible iniciar investigaciones en varios aspectos de la espacialización del sonido que no habían sido previamente estudiados; en particular trabajos referentes a la reverberación artificial; Schroeder 1962, Moorer 1979; y al efecto Doppler, Chowning 1971, quien hizo una gran contribución en los estudios de la distancia y el movimiento sonoros en el área del espacio sonoro virtual.

Desde el punto de vista de la música instrumental el movimiento sonoro se ha manejado desde dos perspectivas: el movimiento real de los

intérpretes y la simulación de movimiento con elementos musicales simples tales como la dinámica.

En 1954, en su obra *Millennium II* Henery Brant emplea como elemento básico de composición un aparente movimiento del sonido de adelante hacia atrás y viceversa creado con entradas sucesivas de trompetas y trombones distribuidos a lo largo de las paredes de la sala. El desplazamiento vertical del sonido se observa claramente manipulado en la obra *Últimos ritos* de John Tavener, en donde la alternancia entre varios grupos instrumentales dispuestos en galerías situadas a distinta altura de una iglesia, produce diferentes ubicaciones sonoras.

Un método instrumental para crear movimiento continuo en el espacio por medio de modificaciones en la dinámica (de manera contraria entre uno o varios grupos de instrumento con cualidades tímbricas semejantes) es empleado por vez primera por Stockhausen en su obra *Gruppen für Drei Orchester 1955-1957*; empleándose posteriormente en numerosas obras entre las que cabe destacar *Carré* para cuatro orquestas y coros 1959-1960 del mismo autor; *Continuum* para seis percusionistas de Kazimierz Serocki; numerosas obras de Xenakis como *Persephassa* para 6 percusionistas que rodean al público, *Terretektorh* para 88 músicos distribuidos entre la audiencia, *Pithoprakta*, *Eonta*, *Alax*, etc.; *Canto Naciente* de Julio Estrada, obra para ocho instrumentos de metal que forman un cubo alrededor de los oyentes; *Répons* (1981-1988) de Pierre Boulez para seis instrumentistas, ensamble y equipo electroacústico; entre muchas otras más. Cabe también destacar al compositor Llorenç Barber por sus trabajos musicales donde la distribución de grandes masas sonoras producidas con campanas de iglesias y bandas de música juega un papel preponderante.

Como se puede ver en esta sección la idea de espacialidad sonora no es un campo nuevo. Numerosos trabajos musicales, ya sean instrumentales o electroacústicos, junto con investigaciones teóricas y experimentales se han venido desarrollando a lo largo de la historia musical sobre todo en este último siglo.

El sonido y el espacio desde un punto de vista fisicoacústico:

Para aprovechar mejor al elemento "espacio" dentro de un contexto musical, es necesario entender diversos fenómenos que se dan físicamente cuando se produce un sonido cualquiera. Es posible escribir una "música espacial" oírla y darnos cuenta que no funciona como se esperaba por no haber considerado ciertos fenómenos acústicos que hacen imposible su apreciación. Debido a que la mayoría de los estudios realizados en el campo de la espacialización sonora son elaborados con procedimientos electroacústicos, y a que la parte práctica de este trabajo se compone de experimentos de este tipo, considero de gran importancia tratar el tema desde este mismo punto de vista. Expondré los adelantos hasta ahora obtenidos en el área de la estereofonía, pues existe una preocupación generalizada por lograr la espacialización sonora a partir de equipos con solo dos puntos de emisión incluidos los equipos con audífonos.

La espacialidad real del sonido:

Cuando un evento sonoro ocurre en un medio natural, las ondas sonoras se propagan en todas direcciones interactuando con el medio ambiente pudiendo producir uno o varios de los distintos fenómenos sonoros (reflexión, refracción, difracción y absorción). La mezcla de todas las ondas sonoras resultantes crea una rica textura sonora. En una determinada posición del oyente las ondas sonoras llegan a él desde distintas posiciones y a diferentes tiempos. La primer onda sonora que llega al oyente, conocida como *onda directa* lleva consigo la información sobre la dirección del sonido. Posteriormente, las distintas ondas sonoras que han sido modificadas por el medio ambiente y que llegan al oyente desde distintas direcciones y a diferentes tiempos, *ondas indirectas*, proporcionan al oyente las informaciones de distancia entre él y la fuente sonora y la posición relativa entre la fuente sonora y el medio ambiente. A este fenómeno auditivo se le conoce como *La ley de la primera onda sonora*.

Cuando una onda sonora se encuentra con el oyente se produce un efecto que depende de la frecuencia del sonido. Los sonidos de frecuencias altas son teóricamente reflejados mientras que los sonidos de frecuencias bajas se difractan rodeando al oyente. Entre ambos rangos de frecuencia existe una banda de transición centrada en los 15,000 Hz. aproximadamente

(frecuencia cuya longitud de onda es aproximadamente igual al diámetro de la cabeza) cuyo comportamiento acústico explicaré mas adelante.

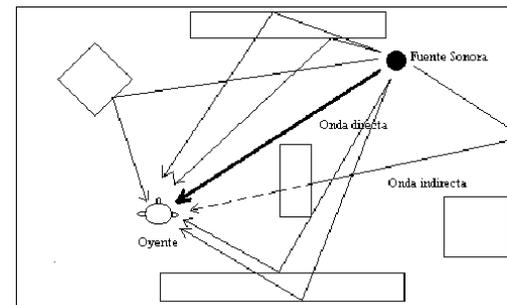


Fig. 1 (Kendall, 1995)

La línea en la que el sonido es equidistante en ambos oídos, se conoce como *plano medio*, el *plano horizontal* corresponde al nivel con respecto a los oídos del oyente y el *plano frontal* es el que divide la cabeza del oyente de manera vertical entre el frente y la parte trasera.

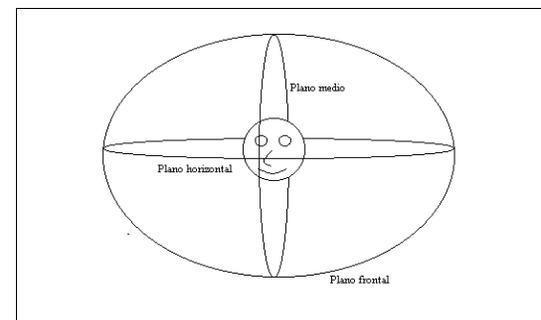


Fig. 2 (Hugo Solís, 1997)

La forma más conveniente de indicar un punto sonoro en el espacio es mediante un vector expresado por dos ángulos (*azimutal* y *de elevación*), y una medida escalar de *distancia* todos ellos tomados a partir del centro de la cabeza del oyente. El ángulo azimutal se obtiene midiendo el ángulo formado entre una línea imaginaria extendida hacia el frente del oyente y la línea-vector del sonido determinado (todo esto en el plano horizontal); de

manera que un movimiento progresivo de 0 a 360 grados produciría un giro total del sonido alrededor del oyente.

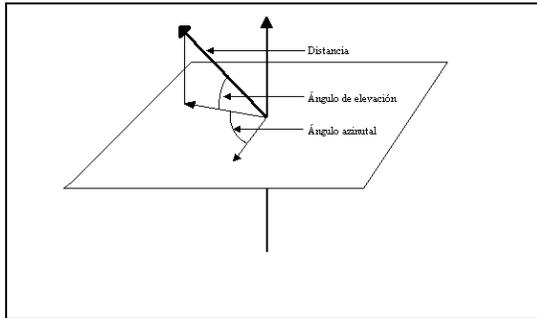


Fig. 3 (Kendall, 1995)

El ángulo de elevación es el ángulo que se produce entre el plano horizontal y el vector del sonido llegando a ser de 90° cuando el sonido se produce sobre la cabeza y de -90° cuando se produce exactamente abajo de la cabeza. La medida de distancia indica, como su nombre lo indica, la distancia entre el punto sonoro y el oyente.

Las ondas sonoras que llegan a los oídos del oyente son el resultado de la interacción de las ondas sonoras originales con el torso, la cabeza, los oídos externos y los canales auditivos del oyente. El resultado de esta relación puede ser medido y capturado como una función llamada *Head related transfer function* (HRTF) o función de transferencia relacionada con la cabeza. La interacción que se crea entre las ondas sonoras y el cuerpo del oyente hace que la HRTF en cada oído sea muy distinta y dependa de la dirección del sonido. Cuando un sonido es equidistante a los dos oídos, el sonido llega al mismo tiempo y de la misma dirección haciendo que los HRTF de ambos oídos sean similares. Cuando una fuente sonora no se encuentra a la misma distancia de ambos oídos, la señal llega a cada oído con características diferentes y los HRTF son por tanto diferentes entre sí. El oído más cercano a la fuente sonora se llama *oído ipsilateral* y el más alejado *oído contralateral*.

Experimentos muy sencillos permiten observar las diferencias en tiempo e intensidad que se dan entre el oído ipsilateral y el contralateral.

Estas diferencias reciben los nombres de *diferencia de tiempo interaural* (ITD) y *diferencia de intensidad interaural* (IID) respectivamente. Cuando un sonido está completamente en un lado del oyente sobre el plano horizontal el ITD alcanza su máxima diferencia, cerca de .7 a .8 milisegundos.

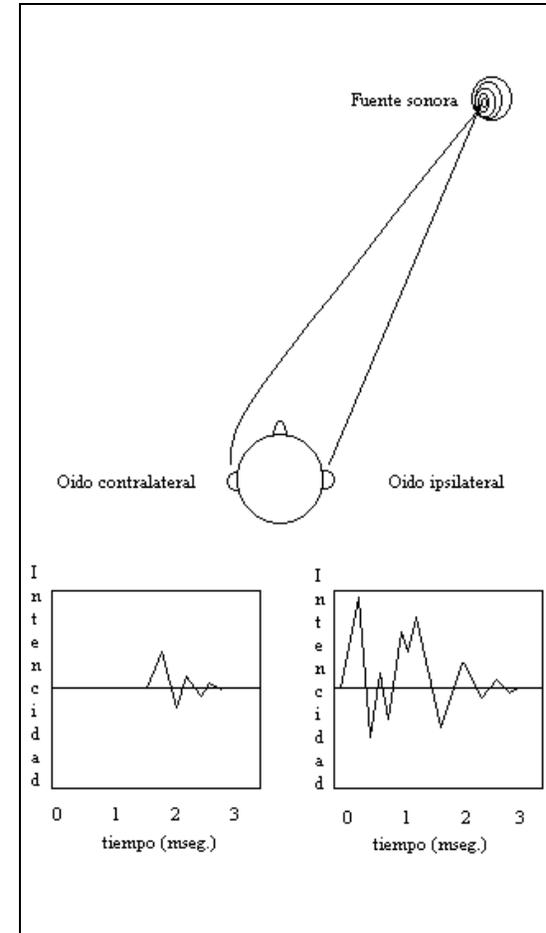


Fig. 4 (Kendall, 1990)

Como se observa en la figura anterior la información que reciben los dos oídos es muy distinta y llega a ellos a diferentes tiempos. Este fenómeno está además muy relacionado con la frecuencia, pues en las frecuencias altas la ITD y la IID son más extremas que en las frecuencias bajas debido a la interacción con el cuerpo del oyente. Una banda de frecuencia cuyo centro se encuentra en los 15,000 Hz es el punto en donde se disparan los valores de la ITD y de la IID. Existen otros factores que modifican a las HRTF, como el ocasionado, por la resonancia del canal interaural, en la región de los 3,000 Hz. Otro elemento importante a considerar en la medición de las HRTFs es la distancia. Si la fuente sonora se encuentra retirada a una distancia mayor a los dos metros, los HRTF cambiarán muy poco mientras que cambios de distancias en un rango menor a los dos metros provocarán modificaciones notorias en las HRTFs.

La IID, la ITD, la ley de la primera onda sonora y los fenómenos de los HRTF expuestos con anterioridad son primordiales para entender el fenómeno de percepción espacial del sonido. Sin embargo, no son suficientes para explicar todo el proceso de ubicación sonora. Con la IID y la ITD únicamente, un oyente no podría determinar con certeza el punto donde se produce un sonido. Esta ambigüedad de localización sonora que se produce en determinado campo del espacio, se conoce como *cono de confusión*. Teorías modernas han concentrado su atención en el estudio de las HRTFs para explicar, junto con las IID e ITD, el fenómeno de la espacialización sonora.

Existen evidencias de que la percepción en la altura física del sonido (elevación) presenta una relación con el contenido armónico del mismo, es decir que existe una asociación inconsciente en la que los sonidos brillantes y agudos se localizan comúnmente arriba de los sonidos graves y opacos.

Hay que mencionar también las diferencias de resolución que presenta el oído humano en las distintas dimensiones espaciales. La resolución más fina se tiene en la dimensión horizontal, especialmente en el frente del oyente en donde diferencias de hasta dos grados son perceptibles.

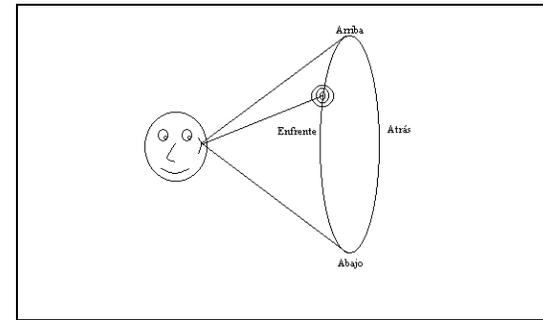


Fig. 5 (Kendall 1990 basado en Woodworth 1954)

En los lados del oyente se tiene una resolución de aproximadamente diez grados aumentando a seis en la parte posterior del mismo. A diferencia de esta fina percepción en la dimensión horizontal, el oído humano tiene una resolución pobre en la dimensión vertical donde el ángulo mínimo audible es de nueve grados en el frente aumentando a veintidós sobre el oyente.

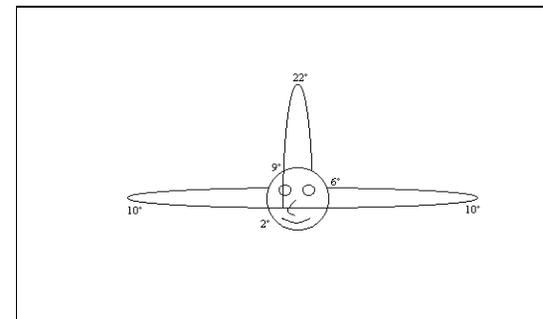


Fig. 6 (Hugo Solís, 1997)

Por último, es importante mencionar otro fenómeno que ocurre en la percepción del espacio sonoro. Se trata de un conflicto para discriminar si un sonido proviene de enfrente o de atrás del oyente. Cuando la IID y la ITD

son muy pequeñas y las HRTFs similares (cuando el sonido se produce en el plano medio) no es posible ubicar un sonido pues no existen puntos de comparación. Para resolver este conflicto el *movimiento de cabeza* juega un papel dominante. Como observamos en la figura 7, para un sonido producido enfrente del oyente: un movimiento de cabeza hacia la derecha causa que el oído izquierdo reciba primero y con más intensidad la onda sonora; mientras que si el sonido se produce atrás del oyente, el mismo giro de cabeza produce el efecto contrario pues el oído derecho será el que recibe la primera señal.

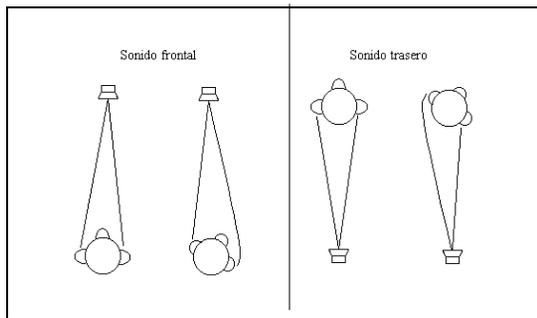


Fig. 7 (adaptación de Kendall, 1990; de la Sociedad de Ingenieros de Audio)

La espacialidad virtual del sonido:

Ahora que se tienen claros algunos de los elementos concernientes al fenómeno de la espacialidad sonora, trataremos el tema de la espacialidad virtual. Es importante hacer notar que la producción de espacios sonoros virtuales se encuentra estrechamente relacionada con el campo de la electroacústica. La espacialidad virtual se basa en la creación de fenómenos sonoros "ficticios" por medio de sistemas de reproducción sonora tales como el estereofónico, el cuadrafónico o por medio de audífonos, con el propósito de generar un espacio sonoro imaginario de tres dimensiones. Los sistemas electrónicos que permiten ubicar artificialmente al sonido en el espacio pueden emplear dos métodos distintos para tal fin.

El primer método reproduce las variaciones en timbre, intensidad, duración, etc. que recibe nuestro oído cuando se altera la ubicación de un sonido por medio de modificaciones en las HRTFs. Comunmente requiere

de audífonos para poder ser apreciado, aunque existen variantes que utilizan un par de bocinas para la producción del espacio sonoro. Muchas de las investigaciones sobre espacialidad sonora se encuentran enfocadas a la producción de espacios sonoros virtuales por medio de sistemas estereofónicos. Los métodos para producir estos espacios se encuentran basados en el uso de *filtros de direccionalidad*. Estos filtros son procesos digitales que empleando los valores de los IID, ITD y de las HRTFs producen, de una señal monofónica, un sonido con determinada ubicación espacial. Para poder apreciar los resultados deseados en sistemas que emplean filtros de direccionalidad es necesaria además: una ecualización casi matemática que neutralice los cambios producidos en un sonido debido a: los filtros de direccionalidad, al equipo de reproducción y a la trayectoria del sonido desde las bocinas hasta el oído.

En los sistemas que emplean bocinas es importante considerar además un fenómeno llamado *cruzamiento de señal*, en el cual la señal que debe de llegar únicamente a un oído llega a los dos oídos. Para solucionar tal problema se emplea el método de la *cancelación de señal cruzada*. Este método emplea determinados filtros de direccionalidad, determinados valores de ecualización y un determinado valor de HRTFs llamado H330 para neutralizar el cruzamiento de señal.

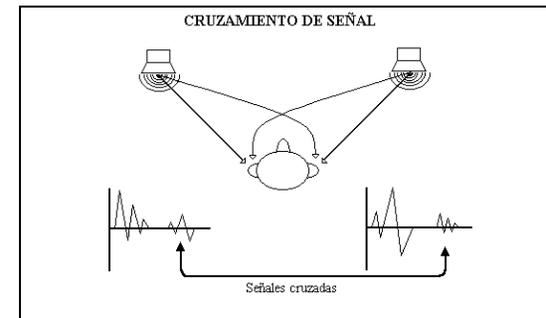


Fig. 8 (Kendall, 1995)

Son muchas las dificultades técnicas que presentan estos sistemas, debido a que los valores han de ser muy precisos y personalizados. Las HRTFs varían de persona en persona, los equipos de reproducción generan

diferencias muy notables y en el mejor de los casos, si todo está controlado sólo un grupo muy pequeño de oyentes puede apreciar el resultado. En los sistemas que emplean bocinas, el auditorio debe ser muy pequeño pues son sistemas en donde la ubicación del oyente es de suma importancia. En los sistemas que emplean audífonos son necesarios audífonos individuales para cada oyente.

También existen investigaciones para crear sistemas que interactúen con el movimiento de la cabeza. Sistemas con sensores que actualicen los valores de los filtros de direccionalidad, manteniendo la ubicación virtual de los sonidos aunque se mueva la cabeza del oyente, crearían un realismo extraordinario.

El segundo método para producir espacios sonoros virtuales es mucho más sencillo, sin embargo es hasta cierto punto natural ya que necesita de un espacio físico para distribuir las bocinas. Estos sistemas producen sonidos "fantasmas" por medio de modificaciones en la intensidad de múltiples bocinas; los sistemas estereofónicos tradicionales son el ejemplo más común de este tipo de sistemas. Una diferencia de 18 dB en los niveles de señal en dos bocinas ubicadas de tal manera que se forme un triángulo isósceles cuyo ángulo en el punto del oyente sea de 120° , permite producir un sonido virtual en la bocina con mayor intensidad; una señal de la misma intensidad produce un sonido virtual enfrente del oyente. A medida que aumentamos el ángulo formado entre el oyente y las bocinas, la ubicación de los sonidos (sobre todo en el centro) se vuelve cada vez más inestable. Cuando el ángulo llega a ser de 180° los sonidos céntricos ya no pueden ser creados.

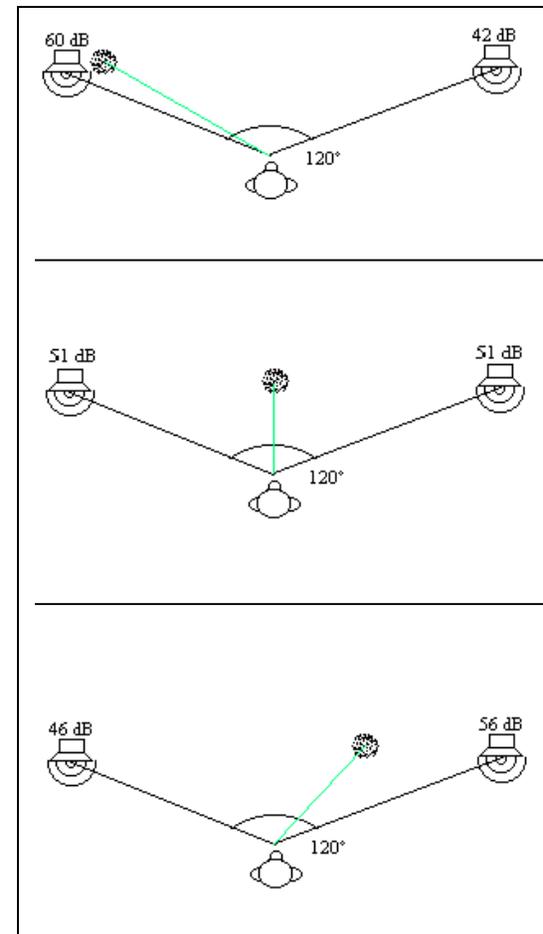


Fig. 9 (Hugo Solís, 1997)

La zona de audición para estos sistemas es chica pero mayor a la que permiten los sistemas que emplean filtros de direccionalidad. A pesar de ello, estos sistemas (sobre todo aquellos que emplean más de cuatro bocinas) tienen el inconveniente de necesitar siempre una determinada ubicación de las fuentes sonoras, misma que no siempre es posible lograr.

Por último cabe mencionar que este último sistema puede ser empleado con instrumentos acústicos. Juegos de dinámica con instrumentos semejantes distribuidos en distintos puntos del espacio pueden producir movimientos virtuales de las fuentes sonoras. Basados en este principio elaboramos toda la parte de ejemplos musicales de tipo discontinuo que se explican a continuación.

El espacio como elemento musical (ejemplos auditivos):

En esta sección se ejemplifican algunos procedimientos musicales concernientes al espacio. Se pretende abarcar distintos enfoques con los que es posible manejar esta variable con la finalidad de que compositores e intérpretes que no están familiarizados con el elemento “espacio” se percaten de su riqueza como variable musical y la aprovechen tanto a nivel compositivo como de interpretación.

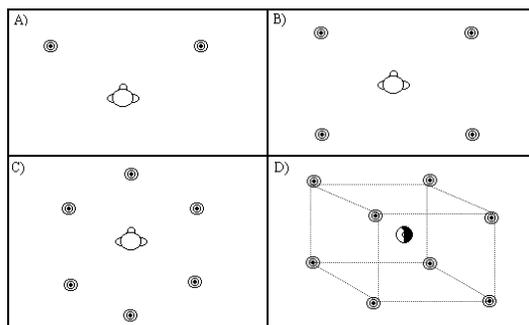


Fig. 10 (Hugo Solís, 1998)

En la figura 10 se muestran algunos modelos de distribución sonora en el espacio. Como es lógico, a mayor cantidad de puntos, mayor

posibilidad de combinatoria, tanto en trayectorias sonoras como en cantidad de sonidos sonando de manera simultánea. Para los ejemplos auditivos se empleó un modelo de 12 puntos sonoros. El artículo se acompaña de un disco para computadora en el que se encuentran nueve ejemplos sonoros grabados en formato midi file (.mid). Dichos ejemplos están pensados y elaborados para ser escuchados en equipos con doce fuentes sonoras y para ello se ocupan 12 canales midi; el canal 10 no fue empleado para no tener problema con equipos que utilizan dicho canal para los sets de percusión. De esta forma es necesario un equipo en el cual podamos direccionar cada canal midi utilizado (del 1 al 13 excluyendo el 10) a una salida de audio independiente. En la siguiente figura se expone un modelo con las características necesarias para apreciar los ejemplos sonoros.

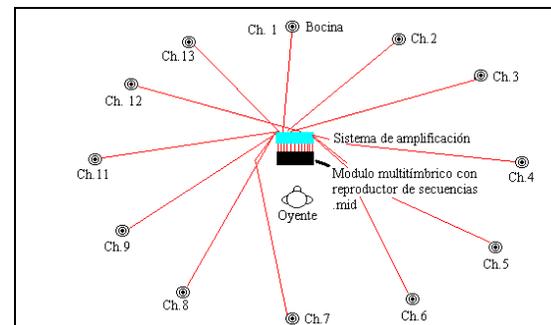


Fig. 11 (Hugo Solís, 1998)

En el primer ejemplo musical *Ejemplo1.mid* podemos apreciar un sonido, con altura e intensidad estables, que “gira” alrededor del oyente y que se acelera gradualmente para después desacelerar de la misma forma. Este efecto sonoro se obtiene de ir produciendo un sonido con las mismas características en los doce puntos sonoros pero desfasados en el tiempo de tal forma que primero suene el punto 1, luego el 2, el 3 y así consecutivamente hasta llegar al 12 para después repetir el ciclo. Gradualmente se acelera el tiempo de dicho ciclo lo que produce la sensación de que el sonido gira a mayor velocidad.

En el segundo ejemplo *Ejemplo2.mid* tenemos un ciclo similar al del ejemplo uno pero aquí los sonidos, que en este caso presentan dinámicas

cambiantes, se encuentran traslapados de tal forma que mientras un sonido decrece hasta llegar a cero el otro crece a su máxima intensidad y cuando este empieza a decrecer un tercer punto sonoro inicia su crecimiento y así consecutivamente entre los doce puntos sonoros. Con este método es posible crear una sensación de movimiento continuo de tal forma que no sea reconocible que existen 12 puntos sonoros sino que se da la impresión de un movimiento constante y real de un sonido alrededor del oyente. En este ejemplo se presenta también un aceleramiento gradual en la velocidad del ciclo y es muy interesante observar que a determinada velocidad ya no es posible apreciar tan fácilmente el efecto del movimiento circular que a velocidades relativamente lentas es muy claro. En la figura 12 se explica en notación musical cómo se logra dicho efecto de movimiento.

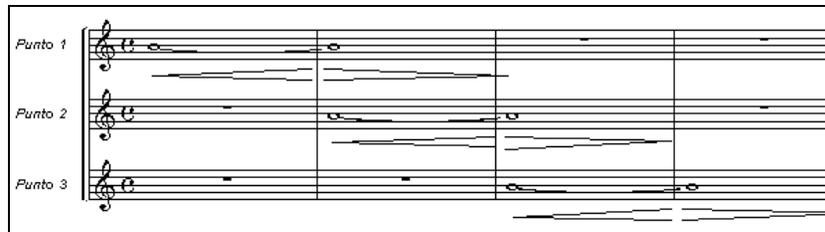


Fig. 12

En el tercer ejemplo *Ejemplo3.mid* una escala cromática de 13 sonidos (de Do4 a Do5) es repartida entre los doce puntos de sonido de tal forma que el inicio de la escala se va recorriendo un punto en cada ciclo. En el primer ciclo el do4 suena en el punto 1, en seguida el do#4 suena en el punto 2 y así hasta que el do5 suena en el punto 1; de esta forma la repetición de la escala cromática sonará ahora a partir del punto 2. En este ejemplo se producen diversos efectos que dependen de la forma en que deseé escuchar el oyente. Si pone atención a la escala como estructura indivisible, escuchará cómo esta se va recorriendo poco a poco en el espacio; si fija su atención a un punto en el espacio, escuchará una escala cromática descendente; y si pone atención de tal forma que escuche en sentido contrario a como se produce la escala cromática es decir, primero al punto 1 luego al 12, al 11, al 10, etc. podrá escuchar una escala por tonos descendente y en dirección contraria al movimiento de la escala cromática.

En el cuarto ejemplo *Ejemplo4.mid* una escala cromática de 13 sonidos (con la misma característica que la del ejemplo 3) se produce constantemente sin embargo a cada ciclo se le va añadiendo un punto sonoro más de tal forma que primero la escala es producida con un punto sonoro por cada nota; en el segundo ciclo, dos puntos sonoros producen la misma nota; en el tercer ciclo, son tres los puntos que de manera simultánea producen cada nota, etc. En este ejemplo podemos observar distintos “grosos” del círculo que se produce con la escala cromática. En la figura 13 se esquematiza el fenómeno.

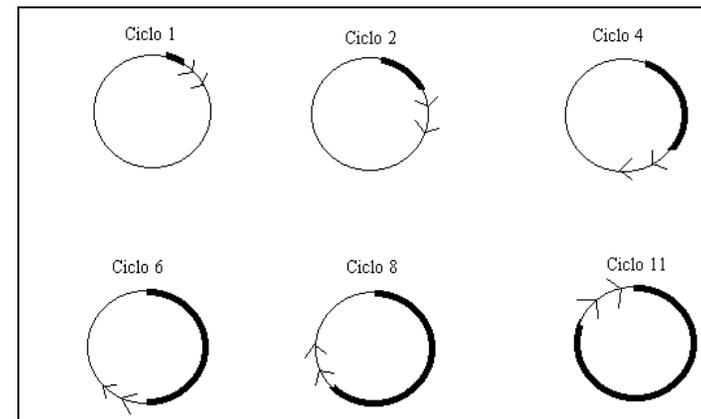


Fig. 13 (Hugo Solís, 1998)

En el quinto ejemplo *Ejemplo5.mid* se resalta el concepto de “densidad sonora” pues aquí al igual que en el ejemplo cuatro, en cada ciclo se añade un punto sonoro pero ahora con una altura distinta. Es curioso observar que no es necesario llegar a una densidad de 12 sonidos sonando de manera simultánea para que se produzca un efecto de saturación.

En el sexto ejemplo *Ejemplo6.mid* podemos observar distintas combinaciones de “estructuras espaciales”. Nuevamente una escala cromática es producida como en los ejemplos anteriores y en cada determinado número de ciclos se agrega un punto sonoro más para que suenen varios puntos de manera simultánea, solo que ahora no se agregan de manera contigua “ensanchando” la franja sonora sino en lugares opuestos

produciendo efectos muy particulares que simulan en cierto sentido a hélices de dos tres y cuatro elementos. En la figura 14 se esquematiza el fenómeno.

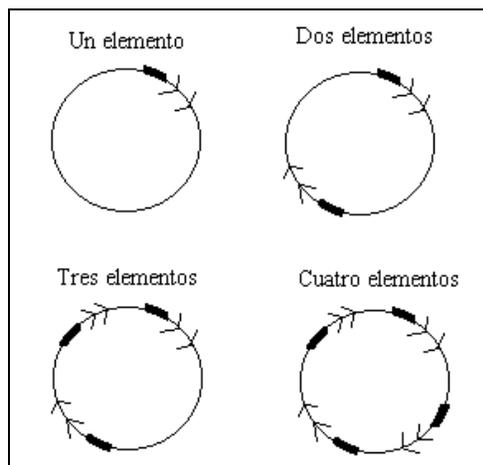


Fig. 14 (Hugo Solís, 1998)

En el séptimo ejemplo *Ejemplo7.mid* presentamos distintas trayectorias del sonido. Hasta ahora sólo hemos producido ejemplos en donde uno o varios sonidos “giran” alrededor del oyente; sin embargo, es posible producir diversas trayectorias en el espacio. En este ejemplo se observan dos trayectorias distintas, separadas por una breve pausa. Como en el ejemplo dos, en este ejemplo tenemos sonidos “continuos” producto del método descrito con anterioridad. Aquí un sonido es traslapado no con su punto sonoro contiguo sino con un punto espacial alejado de él formando lo que podríamos considerar “figuras sonoras espaciales”. En la figura 15 se observan las dos figuras con las que se ejemplifican dos trayectorias posibles

En el octavo ejemplo *Ejemplo8* se presenta una secuencia en donde los doce puntos sonoros producen de manera aleatoria sonidos de altura y duración también aleatorias. Durante la secuencia, la cantidad de notas que se producen en determinado momento “densidad sonora” aumenta progresivamente.

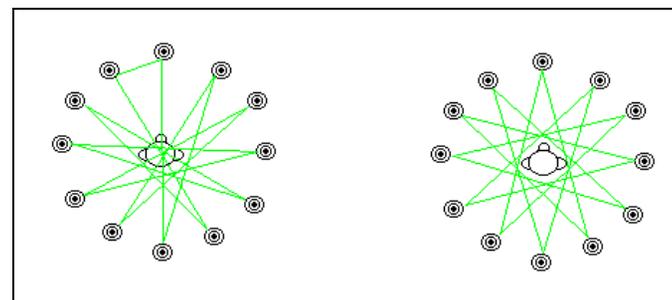


Fig. 15 (Hugo Solís, 1998)

El último ejemplo *Ejemplo9* es un fragmento musical que nos recuerda mucho a los estudios para piano de Nancarrow pues un motivo melódico es ejecutado en distintos tiempos y con distintas alturas. Dicho motivo se presenta algunas veces en un solo punto sonoro y en otros casos “gira” o produce “trayectorias espaciales” particulares.

La “teoría interválica” aplicada a la distribución del sonido en el espacio:

Esta parte del trabajo está enfocada a la “teoría del continuo” desarrollada por el Dr. Julio Estrada y a su aplicación en el campo de la espacialización sonora. Como se puede ver en el programa MUSIIC, la teoría del continuo ha sido aplicada al análisis, tanto de alturas sonoras, como de duraciones rítmicas; sin embargo, este método de análisis puede ser utilizado para el estudio de cualquier variable discontinua. Las nociones de “identidad interválica”, “contenido interválico”, “órbita interválica”, etc. pueden funcionar muy claramente para conocer las posibilidades que tiene un determinado sistema de cierta cantidad de puntos sonoros distribuidos en el espacio. No es la intención de este artículo explicar las bases teóricas de dicha teoría y algunos términos empleados podrán ser desconocidos para los lectores que no se encuentren relacionados con la teoría interválica, sin embargo, dicha teoría se sustenta en principios matemáticos muy sencillos y es posible entender sus planteamientos esenciales sin complicación alguna.

Tomemos para empezar un sistema de dos puntos sonoros. ¿De cuantas identidades interválicas se compone un sistema de dos puntos

sonoros? Solo de dos identidades: 2 y 1,1. ¿A qué se traducen estos valores?: Sencillamente a que en un sistema conformado por dos puntos sonoros, pueden sonar, o uno de ellos o ambos de manera simultánea.

Ahora bien, en un sistema con cuatro puntos de emisión del sonido las combinaciones son, obviamente mayores. ¿De cuántas identidades interválicas se compone un sistema de cuatro puntos? Como se puede ver en la figura 16, cinco son las identidades interválicas de dicho sistema: (/4/ /1,3/ /2,2/ /1,1,2/ /1,1,1,1).

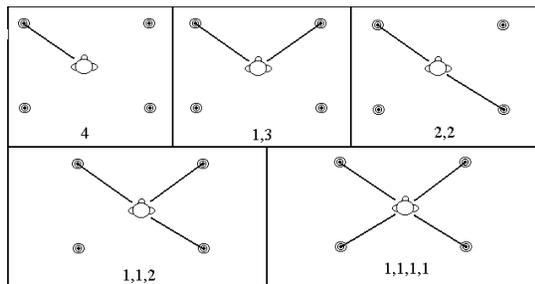


Fig. 16 (Hugo Solís, 1998)

En las figuras 17, 18 y 19 se muestran las “redes” de sistemas de cuatro, seis y ocho términos, tal y como son construidas por el programa MUSIIC. En dichas redes se pueden observar, tanto la cantidad total de identidades del sistema, así como el número de identidades por nivel y las distintas transiciones posibles entre “identidades” con desplazamientos mínimos.

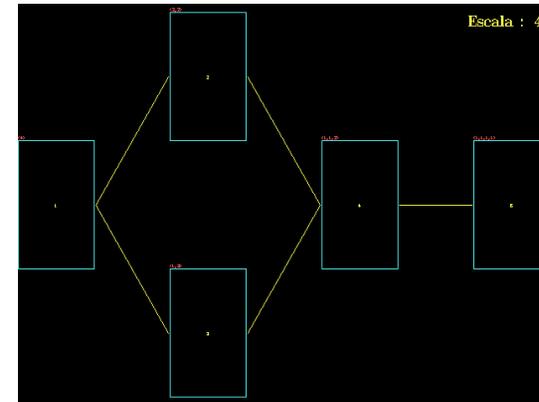


Fig. 17 (Pantalla del programa MUSIIC)

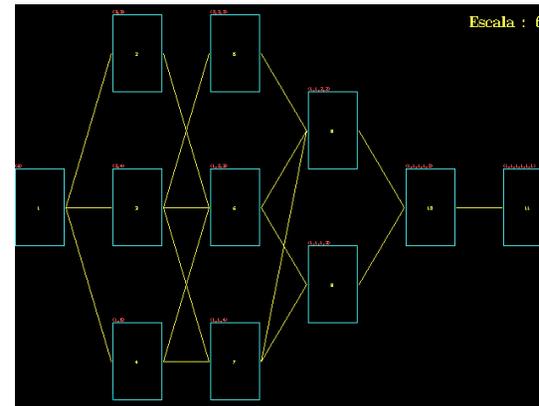


Fig. 18 (Pantalla del programa MUSIIC)

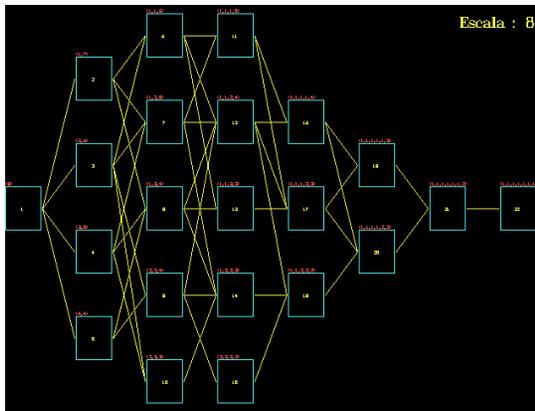


Fig. 19 (Pantalla del programa MUSIIC)

Los niveles (columnas de una red) organizan a la misma de tal forma que cada una de las columnas agrupan las identidades interválicas compuestas de la misma cantidad de elementos. Esto nos permite observar cuantas combinaciones posibles hay, por ejemplo, cuando en un sistema de seis puntos sonoros empleamos sólo tres de ellos. (Figura 20).

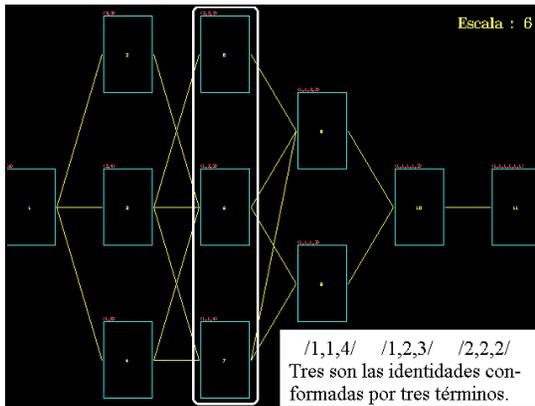


Fig. 20 (Pantalla del programa MUSIIC)

Las redes y las identidades interválicas son conceptos que nos permite organizar de una manera muy eficiente el material discontinuo de un sistema determinado. Sin embargo, en ellas no se encuentran todos los casos posibles que se pueden producir en un sistema cualquiera. Existe otro concepto importante que nos es necesario entender para poder aplicarlo al campo de la espacialidad sonora y es el de las “transformaciones” de las identidades interválicas. Si viéramos las redes como la agrupación de todos los acordes posibles en un sistema musical diatónico, las columnas nos agruparían los acordes de acuerdo al número de notas de los mismos; acordes de tres notas, en una columna; de cuatro en otra; etc. De esta forma cada identidad interválica equivaldría a un tipo determinado de acorde. Mayor, menor, disminuido, Mayor con séptima mayor, etc. Ahora bien, un acorde determinado tiene ha su vez una variedad de posibilidades. Por ejemplo, un acorde mayor puede encontrarse en su modo fundamental, en su primera inversión y en su segunda inversión. De esta forma, las “transformaciones” de una identidad interválica se pueden ver como las distintas inversiones de un acorde. Hablando ya en términos de espacialización sonora, considerar a las distintas transformaciones de las identidades interválicas es fundamental pues de ellas depende directamente la ubicación espacial de los puntos sonoros.

En la figura 21 podemos observar todas las transformaciones posibles de la identidad 1,2,3. Dicha identidad nos habla ya de un sistema de seis puntos sonoros, y la cantidad de elementos de la identidad nos dice que son tres de los seis puntos sonoros los que producirán sonido en este momento determinado. Como se puede observar, son seis las transformaciones posibles que nos dan como resultado seis distribuciones sonoras distintas.

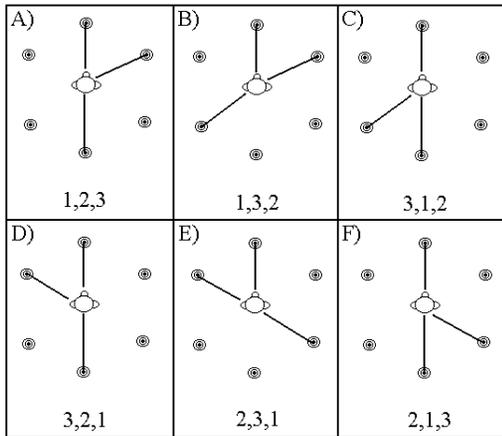


Fig. 21 (Hugo Solís, 1998)

Otro elemento útil, de la teoría interválica, dentro del área de la espacialización sonora, es el concepto de “órbita”. Una órbita es una estructura lógica que nos permite tener ordenadas a todas las “transformaciones” de una identidad interválica de forma tal que entre todas exista la menor cantidad de movimientos posibles. Regresando a la figura 21, podemos observar que las transformaciones se encuentran ordenadas de forma tal que siempre entre ellas existe una modificación mínima. En todos los casos sólo es una fuente sonora la que es sustituida por otra fuente sonora mientras las restantes dos se quedan estables. El encadenamiento, con este método, de todas las transformaciones produce lo que se denomina “órbita”. Dependiendo de la cantidad de elementos que conformen una identidad interválica, dichas órbitas presentan características particulares.

Las figuras 22 y 23 muestran algunos ejemplos de cómo el programa MUSIIC genera dichas órbitas. En la figura 22, se representa la órbita de la identidad /1,1,2,2,2/ que correspondería a un sistema de ocho puntos sonoros en donde seis de ellos se encuentren sonando; y en la figura 23 la órbita de la identidad /1,2,3,4/ que representa a un sistema de 10 puntos sonoros, en donde cuatro de ellos se encuentren sonando.

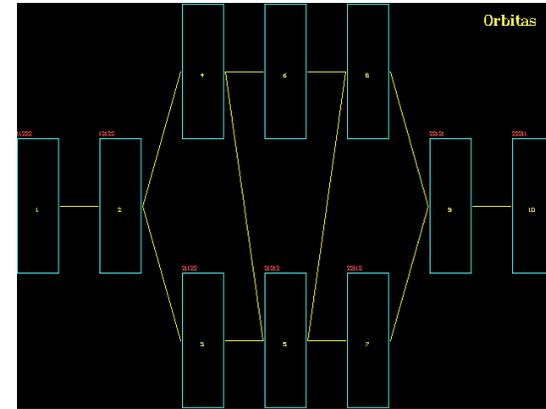


Fig. 22 (Pantalla del programa MUSIIC)

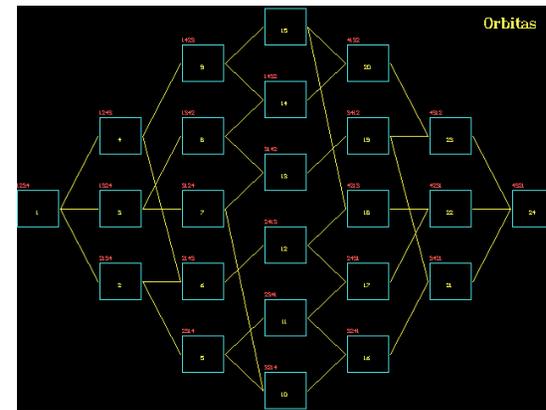


Fig. 23 (Pantalla del programa MUSIIC)

Como es posible observar, la “teoría interválica” y por tanto el programa MUSIIC, son dos herramientas de mucha utilidad para el análisis de las distribuciones espaciales del sonido. Con ellas es posible obtener información relevante y sistematizada sobre la riqueza potencial que puede tener un determinado sistema de distribución sonora en el espacio físico.

Conclusiones:

Como es posible apreciar, el espacio es un elemento musical que por sus características es de una enorme utilidad. Como vimos es un elemento que ha estado presente de diversas maneras a lo largo de toda la historia musical. Sin embargo, se puede observar que dicho elemento no se encuentra explotado de la misma forma que el resto de los elementos musicales y esto obedece a factores muchas veces extramusicales ligados a las dificultades que implica el ejecutar una música espacializada. Creo que es muy importante para compositores e intérpretes el tener muy presente que la espacialización musical es muy atractiva a nivel de percepción y que podemos tomarla en cuenta a la hora de componer o interpretar música existente. Como vimos, la espacialización no es solamente una área exclusiva de la música electrónica y los resultados que se pueden obtener en instrumentos acústicos es sumamente interesante. Las dificultades que se pueden presentar no son mayores al goce perceptual que puede tener el oyente.

Esperemos pues, que poco a poco podamos tener programada, tanto en sala de conciertos como en lugares abiertos, mucha más música en donde la espacialización sonora juegue un papel de importancia similar al resto de los elementos musicales.

Agradecimientos:

Quiero agradecer al Dr. Julio Estrada por sus asesorías y paciencia y al Dr. Kendall por haberme permitido muy amablemente el utilizar las figuras de su artículo en este trabajo.

Bibliografía:

- Estrada, Julio y Gil, Jorge. Música y teoría de grupos finitos (tres variables booleanas), Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1984.
- Kendall, Gary S. The decorrelation of audio signal and its impact on spatial imagery, Computer Music Journal, 19:4, pp. 71-87, Winter 1995.
- Kendall, Gary S. A 3-D sound primer: directional hearing and stereo reproduction, Computer music journal, 19:4, pp. 23-24, Winter 1995.
- Malham, David G. And Myatt, Anthony. 3-D sound spatialization using ambisonic techniques, Computer music journal, 19:4, pp. 58-70, Winter 1995.
- Begault, R. Durand. The composition of auditory space: recent developments in headphone music, Leonardo, Vol. 23, No. 1, pp. 45-52, 1990