

El desdoblamiento del objeto sonoro en la obra electroacústica a través de la tecnología digital.

Cómo citar este ensayo: Rocha Iturbide, Manuel (2021), "El desdoblamiento del objeto sonoro en la obra electroacústica a través de la tecnología digital", en *Digitalización de la guerra, lo humano, el arte y los espacios urbanos y productivos*. Ciudad de México: UAM. ISBN: 978-607-28-2293-1 epub

1. La deconstrucción del timbre en la música contemporánea del siglo XX a través del uso de la tecnología.

1.1.- Análisis timbrico del sonido.

"El timbre es un fenómeno muy complejo que no es facil de caracterizar en comparación con los parámetros de frecuencia e intensidad del sonido" (Dodge, C & Jerse, T.A, 1985: p. 48), ya que la evolución timbrica de un sonido tiene distintas variables que cambian de una manera no lineal. Gracias al trabajo teórico de Hermann Von Helmholtz en el siglo XIX, sabemos que un tono está constituido por una forma de onda con una envolvente de amplitud que consiste en tres partes, el comienzo, el estado estable, y la caída. El físico Aleman llegó a la conclusión de que los sonidos que nos dan una sensación de frecuencia tienen una forma de onda regular, y se dió cuenta de que la naturaleza de la forma de onda determinaba el timbre de un sonido. Para lograr saber más sobre la relación de la forma de onda del timbre, Helmholtz utilizó las investigaciones de Jean Baptiste Fourier, que demuestran que una forma de onda periódica puede estar representada como la suma de una o más ondas sinusoidales. Cada una de estas sinusoidales está caracterizada por su frecuencia, su amplitud y su fase, y el cambio temporal de tres parámetros de cada sinoidal (particularmente los dos primeros) va a cambiar la cualidad de ese sonido, es decir su timbre. Helmholtz descubrió también que no importa que tipo de señal, regular o irregular, puede estar definida por su amplitud en relación al tiempo (forma de onda), y por su distribución de energía en relación a su frecuencia (espectro). Gracias a este procedimiento matemático complejo (Transformada de Fourier Discreta) podemos obtener el espectro de una forma de onda, es decir, sus diferentes componentes (armónicos naturales) con sus características particulares que

van a determinar la calidad del timbre. Con este procedimiento podemos realizar el análisis de un instante del comportamiento de un sonido, entonces, solamente si se trata de un sonido regular que cambia muy poco podríamos tener una idea clara de su espectro. Sin embargo, casi todos los sonidos cambian drásticamente en el tiempo porque la amplitud de sus frecuencias sinusoidales varían y transforman su timbre, como en el caso del sonido de una campana (Figura 1).

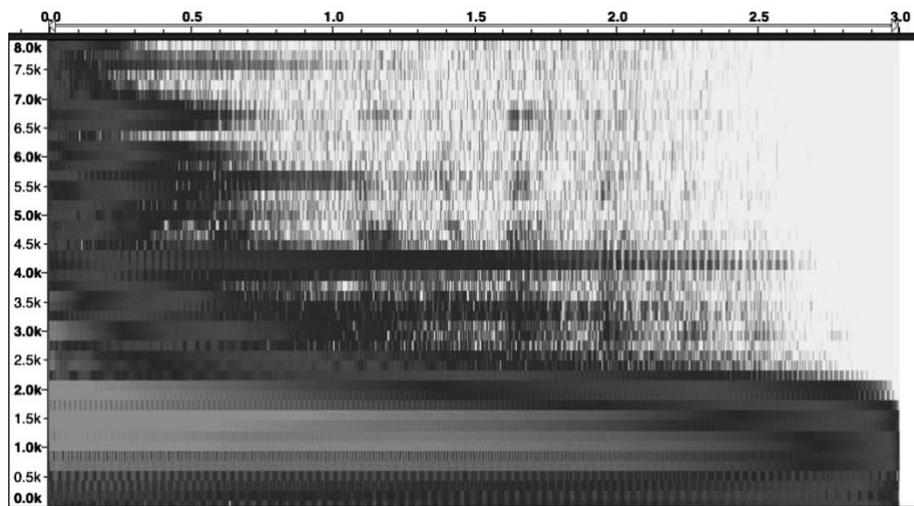


Figura 1. Análisis espectral temporal del sonido de una campana. Los armónicos agudos van desapareciendo poco a poco en el tiempo.

Gracias a la aparición de las computadoras a mediados del siglo pasado, fue finalmente posible hacer un análisis espectral de un sonido que cambia en el tiempo, por medio de la realización de múltiples análisis de Fourier cada 10 o 20 milisegundos por ejemplo (Fig 1). El algoritmo computacional inventado en 1965 por Cooley y Tukey, y que se sigue utilizando hoy en día, se llama Fast Fourier Transform (FFT). Por otro lado, gracias a la aparición de la música electrónica tuvimos la posibilidad de sintetizar espectros sonoros totalmente nuevos de distintas maneras; por ejemplo, por medio de la síntesis aditiva sumando múltiples ondas sinusoidales (con osciladores de frecuencia analógicos en los años 50's), o mediante la amplitud modulada (AM) y la frecuencia modulada (FM).

La eficacia de la síntesis para imitar o reconstituir sonidos de instrumentos

acústicos se debe al desarrollo del análisis del sonido por medio de la FFT en el campo de la informática, gracias a las investigaciones de Jean Claude Risset en los laboratorios Bell en los EUA a mediados de los años 60, y a las de Grey y Moorer a mediados de los años 70, quienes hicieron el análisis de un sonido de trompeta con ataque, descubriendo que los armónicos agudos aparecen siempre al inicio y luego desaparecen¹ cuando la nota producida se estabiliza después de una pequeña caída en el volumen del sonido (Dodge C & Jerse T.A, 1985: p. 56,57). Esta característica de la evolución de un sonido instrumental de viento o de cuerda siendo atacado al inicio: ataque, caída, sonido sostenido y extinción, fue implementada por ingenieros electrónicos como Robert Moog en los años 60 en los primeros sintetizadores comerciales, por medio de un generador de envolvente llamado ADSR (attack, decay, sustain, release), con el propósito de que los sonidos sintéticos parecieran más naturales o reales (Figura 2).

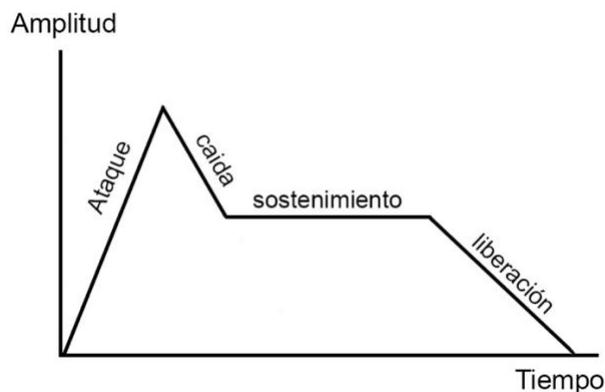


Figura 2.- ADSR.

1.2.- El timbre y la música instrumental espectral.

El descubrimiento de la complejidad de la evolución de un espectro, gracias a su análisis detallado y a la posibilidad de recrear sonidos instrumentales por medio de la síntesis aditiva en una computadora² (Beauchamp JW, 1971: pp. 348-350), inspiran al

¹ Como en el caso del sonido de una campana, solo que la campana no tiene el mismo envolvente del ataque de una trompeta, la campana ataca y luego el sonido se va extinguiendo lentamente.

² A mediados de los años 60 Jean Claude Risset trabajó en los laboratorios de telefonía Bell Labs y realizó el análisis espectral de la evolución de los parciales (armónicos) de una campana, para luego realizar la síntesis del mismo sonido reconstruido por medio de una síntesis aditiva con los 30 armónicos más importantes (con más energía espectral) del sonido analizado, por medio del programa de síntesis MUSIC V desarrollado por Maxwell Davis (Beauchamp JW, 1971: pp. 348-350).

compositor francés Gérard Grisey para realizar su obra *Partiels* (1975) en la que "resintetiza"³ de manera metafórica el espectro de un sonido de trombón por medio de dieciseis instrumentistas (cada uno de ellos tocando uno de los distintos parciales del espectro). El musicólogo Pierre Albert Castanet define este proceso como una síntesis instrumental, que "consiste en controlar la estructura física de los sonidos, a estudiar sus componentes armónicos (variaciones de altura tonal, microtonal y espectral) para luego tocar con los instrumentos de una orquesta cada uno de los componentes analizados; formando una síntesis aditiva por reconstitución" (Castanet PA, 1987: p. 7).

Con *Partiels*, Grisey hace una abstracción que le permite navegar entre un micro proceso (la evolución del espectro de un sonido de trombón) y un macro proceso (la estructura de la obra). Pero Grisey no se contenta con representar el espectro del sonido de este instrumento con instrumentos acústicos ya que recompone la evolución de ese espectro componiendo al interior del sonido y jugando con su degradación, creando así su propio proceso dentro de un continuum.

La obra de Grisey abre el camino a una nueva corriente musical de vanguardia en Francia llamada Música espectral, e integrada por un grupo de compositores que establece diferentes posibilidades de utilizar el análisis de espectros de distintos sonidos para componer sus obras, como es el caso de Tristan Murail quien describe las microformas y los sistemas de evolución utilizados en su obra *Désintégration* (1982/83), determinados a partir del análisis de descomposiciones y de reconstrucciones artificiales de espectros armónicos e inarmónicos⁴. Los tratamientos de los espectros utilizados en su obra son los siguientes:

- El uso de una fracción del espectro ("Fraccionamiento").
- El filtraje del espectro (exagerar o cortar algunos componentes).
- Creación de espectros inarmónicos.
- Creación de espectros no instrumentales (imaginarios).

³ Esta resíntesis es metafórica porque en realidad el compositor está instrumentando el espectro.

⁴ El espectro armónico es el timbre de cualquier sonido periódico basado en una serie de frecuencias de armónicos naturales basados en la teoría de Pitágoras, armónico 1 = 100 Hz, armónico 2 = 200 Hz, armónico 3 = 300 Hz, armónico 4 = 400 Hz etc) en donde hay una fundamental con armónicos divisibles entre esa fundamental. En cambio, un espectro inarmónico tiene más de una serie de armónicos naturales, produciendo una especie de desafinación como es el caso de los sonidos de las campanas y los gongs.

- La exploración espectral (movimientos en el interior del sonido, el timbre se convierte en melodía).
- La utilización de análisis de espectros de diferentes instrumentos dentro de una misma obra y su interpolación, ir del sonido de una campana al de una trompeta (Murail T, 1984: pp. 172-173).

Después de la primera fase de investigación, el grupo de compositores del movimiento espectral no se contenta con utilizar solamente estos principios, expandiéndolos a todas las transformaciones sonoras posibles que se pueden realizar en el campo digital. Por ejemplo, Tristan Murail utilizó el principio de la síntesis por frecuencia modulada (FM) como fuente para variar un espectro. La FM es una síntesis en la que la frecuencia de un oscilador sinusoidal modula la frecuencia de otro oscilador sinusoidal, produciendo un gran número de frecuencias nuevas cuando hacemos variar el índice de modulación, y enriqueciendo así el espectro inicial de solamente dos frecuencias sinusoidales puras cuando la modulación es igual a cero.

La mezcla de todos estos principios y de otros más constituye la riqueza de esta nueva estética, pero este es un tema demasiado largo para abordarlo en profundidad en este ensayo y no forma parte del punto central de esta investigación. Por otro lado, si me he extendido demasiado en el tema de la música espectral es solamente para subrayar la importancia de la influencia del desarrollo de la tecnología digital en relación a la creación de nuevos lenguajes musicales. La innovación de los compositores espectrales hubiera sido imposible sin todos los años de experimentación y de investigación sobre el fenómeno sonoro dentro de los laboratorios de música electroacústica, y sin el desarrollo de la música por computadora.

El aspecto espectral del fenómeno sonoro de los instrumentos acústicos me ha interesado particularmente ya que gracias a ello hemos podido crear una relación entre la música electrónica y electroacústica con la música instrumental, que se ha convertido en el campo de la música electroacústica mixta. De este modo, desde el último cuarto del siglo XX ha sido posible crear por ejemplo una obra para clarinete y una pista digital estéreo o multicanal, en la que los sonidos digitalizados en la computadora puedan ser transformados a partir de la manipulación del espectro del clarinete, logrando así tener un mismo espacio tímbrico entre el clarinete real y los sonidos digitalizados, que nos

permita crear distintos procesos de creación sonora.

En las siguientes secciones analizaré las prácticas de la música electroacústica por computadora, así como la manera en la que provocaron la necesidad de crear nuevas bases teóricas para redefinir el fenómeno sonoro. A partir de ellas, surgirán estéticas musicales completamente nuevas y distintas de aquellas basadas en la composición con instrumentos

1.3.- El objeto sonoro y el timbre en la música electroacústica.

Después de la aparición de la música concreta en Francia en 1948 y de la "tape music" en los Estados Unidos de América a principios de los años 50, surgió una necesidad de sistematizar una nueva manera de componer con las cintas magnéticas, y redefinir la música sobre la base de las propiedades físicas (timbre), acústicas y semióticas del sonido. Antes de la llegada del desarrollo de la informática musical que nos permitió analizar en detalle las distintas cualidades de los sonidos, tuvimos que usar nuestra experiencia auditiva para poder describirlas, así como para poder crear nuevas jerarquías para estos sonidos que anteriormente no formaban parte de la música contemporánea instrumental tradicional.

Pierre Schaeffer⁵ fue el primer músico teórico que se aventuró a hacer un análisis a la vez científico y musical de los nuevos timbres a nuestra disposición, es decir, de todos los timbres existentes. Schaeffer subrayó la necesidad de utilizar nuestra experiencia auditiva como la herramienta de percepción más importante para un nuevo espacio musical (la Música Concreta). No obstante, crear una sintaxis nueva para esta música requería antes poder definir el fenómeno sonoro, muy pobremente descrito por la teoría musical tradicional.

En 1952 Schaeffer acuña el término *objeto sonoro* en su texto *À la recherche d'une musique concrète*, en donde muestra sus primeros pasos en la investigación acerca de una música nueva creada a partir de sonidos grabados.

⁵ Pierre Henry Marie Schaeffer nació en 1910, hijo de padres músicos estudió ingeniería en telecomunicaciones y comenzó a trabajar en la radio Francesa (ORTF) en 1936 en donde de manera completamente experimental comenzó a experimentar con la manipulación de sonidos grabados en cinta magnética a finales de los años 40. Padre de la Música Concreta, se convirtió en el primer compositor de ella, al mismo tiempo adentrándose en el campo teórico de una forma autodidacta.

Este sesgo de composición con materiales tomados de los datos sonoros experimentales, lo llamo por construcción *Música Concreta*, para marcar bien la subordinación en la que nos encontramos, no más con respecto a las abstracciones sonoras preconcebidas, sino mas bien con respecto a los fragmentos sonoros que existen concretamente y que consideramos objetos sonoros definidos y enteros, incluso y sobre todo si escapan a las definiciones elementales del solfeo (Schaeffer P, 1952: p. 22).

En el año de 1966, Schaeffer culmina esta investigación de casi dos décadas con su *Tratado de los objetos musicales*, en donde desarrolla a fondo el concepto del objeto sonoro, ligándolo al de otros objetos que podemos encontrar en un nivel superior de complejidad (relación objeto-estructura), y convirtiéndolo en un *objeto musical* estético y destacado gracias a nuestra escucha musical, a partir de la cual es necesario encontrar "objetos convenientes"⁶ para relacionarlos entre si y crear un "Solfeo de los objetos musicales"⁷ a partir del cual clasifica los sonidos por jerarquías de tesitura, timbre, ritmo y densidad. Pero para poder realizar este trabajo, Schaeffer tuvo antes que adentrarse en el estudio de la corriente filosófica de la fenomenología, y proponer una *escucha reducida* (*écoute réduite*) para re-cerarrse auditivamente sobre el objeto, utilizando el concepto Husserliano de la *epochè* (poner entre paréntesis no sólo las doctrinas sobre la realidad, sino también la realidad misma), "oír y escuchar...a partir de una audición que se desinteresa a la vez de las causas del sonido y del sentido que toma dentro de un contexto musical", factores a los cuales nos predispone nuestro condicionamiento cultural; "...solamente la puesta entre paréntesis, l'*epochè*, la reducción, nos permiten llegar a la *escucha reducida* (oir y escuchar)...idea (y práctica, añadiría yo) indisociable del objeto sonoro" (Makis Solomis, 1999: pp. 66-67).

⁶ De este modo, Schaeffer esta haciendo una discriminación musical del objeto sonoro común no destacado por un interés estético del escucha. "El enfoque Schaefferiano nos lleva a la noción del objeto conveniente. Esta no puede, a diferencia del objeto equilibrado, ser definida de manera precisa. Ella se mantiene abstracta y abierta. Los objetos convenientes serán una colección de objetos sonoros que el compositor escogerá para crear una estructura musical. Sin embargo, Michel Chion observa (1983) que ellos deben satisfacer ciertos criterios: a) ser simples y originales, es decir equilibrados b) no ser demasiado anecdóticos a fin de prestarse de manera facil a la escucha reducida c) poder, dentro de una estructura de objetos convenientes, hacer reulcir un valor musical" (Couprie P, 2001: p. 6).

⁷ El primer trabajo importante de la investigación de Schaeffer en este sentido es: "Esquisse d'un solfège concret" en su libro *À la recherche d'une musique concrète* (1952).

La investigación de Schaeffer fue acompañada por la colaboración de otros investigadores, como la del científico Andrés Moles quien trabajó con él durante el año de 1951, y quien inventó máquinas capaces de grabar y de reproducir las características acústicas del sonido de manera gráfica. En su primer ensayo (1952), Schaeffer consideró en primer lugar una "morfología del sonido" conducente en primer lugar a percibir el desarrollo temporal de un objeto. Este concepto es fundamental en todas las teorías modernas del timbre, ya que todos los objetos sonoros tienen un principio, un cuerpo y una extinción, y el análisis en detalle de estas tres fases del sonido nos da una descripción del timbre⁸. En segundo lugar, se dió cuenta de que para estudiar una morfología de lo sonoro es necesario observar estos objetos y crear una "tipología musical", es decir, una clasificación tipológica de los objetos sonoros con un criterio musical. Este trabajo no es fácil de realizar debido a la complejidad del fenómeno del timbre, y no es completamente objetivo. Solo la experiencia del investigador en el campo de la acústica y de la psicoacústica, así como su interacción con distintos escuchas -que pongan a prueba nuestras teorías- nos puede dar un sistema de clasificación del timbre más preciso.

El análisis de los objetos sonoros va a tomar un lugar importante en el desarrollo de una nueva estética dentro del terreno de la música electroacústica, y los primeros intentos de Schaeffer quedarán como un pilar que servirá de base a otros investigadores. En 1952, Schaeffer hace la primera clasificación de objetos sonoros (Schaeffer P, 1952: pp. 203-204). Existen dos maneras diferentes de clasificar estos objetos, la primera es una clasificación material, y la segunda una clasificación musical. En la primera no existe ningún análisis estético, y esta basada solamente en la duración temporal de cada sonido. Hay tres diferentes clases identificadas:

- *Muestra*: una muestra de cualquier longitud (del orden de algunos segundos a un minuto por ejemplo) y que no es escogida por un interés definido.
- *Fragmento*: un objeto sonoro de uno a varios segundos, en el que podemos distinguir un "centro de interés..", a condición de que no presente una evolución o una

⁸ Ya expliqué anteriormente las ventajas de la utilización del análisis de la Transformada de Fourier Rápida para explicar el fenómeno del timbre.

repetición. En caso de que si lo hiciera, el fragmento debe estar limitado a la porción que no incluye una redundancia.

- *Elementos*: la descomposición en pequeños extractos aislados de un sonido: el comienzo, el cuerpo, la extinción de un sonido, o un pedazo del cuerpo de una nota compleja (Schaeffer P, 1952: p. 203).

En la segunda clasificación, el análisis concierne a la fuente del sonido y a su complejidad.

- *Monofonía*⁹: La disociación y abstracción de sonidos concomitantes en elementos monofónicos... dentro de una superposición de sonidos, la monofonía es equivalente a una melodía distinguida por el oído dentro de un ensamble polifónico.

- *Grupo*: Una monofonía que dura varios segundos y que puede ser estudiada por sus repeticiones y por su evolución interna.

- *Celula*: Un grupo esta formado por celulas o por notas complejas. Una celula es un conjunto sin repetición ni evolución que no presenta las características definidas de la nota compleja. Se trata generalmente de complejos densos con una evolución rápida en donde las notas, incluso complejas, son difícilmente discernibles.

- *Nota compleja*: Todo elemento de una monofonía que presenta de manera clara un principio, un cuerpo y una extinción, análoga a la nota musical.

- *Nota gruesa*¹⁰: Una note compleja en la que el ataque, el cuerpo y la extinción están suficientemente desarrollados. Si este desarrollo sobrepasa ciertos limites, tenemos un grupo en donde la evolución puede ser analizada en el ritmo, el timbre y la tesitura.

- *Estructuras*: El conjunto de materiales que el compositor utiliza para una obra, ya sean celulas, notas complejas, o incluso notas ordinarias preparadas o no, a partir de instrumentos directos, clasicos, exóticos o experimentales (Schaeffer P, 1952: p. 204).

Podemos ver cómo en este primer ensayo, Schaeffer está todavía muy influenciado por la teoría tradicional de la música occidental, y por el diagrama

⁹ Curioso como Schaeffer no logra desaferrarse del análisis musicológico tradicional al usar la palabra monofonía, que para mí solo funciona en un contexto melódico y que esta ligado a los inicios de la polifonía Europea del final de la Edad Media y el principio del renacimiento. Lo mismo sucede con la palabra Nota. Años mas tarde, el compositor electroacústico y teórico Neozelandés Denis Smalley (del cual hablaré más adelante), se discute este problema: "En la búsqueda de palabras apropiadas estamos abligados a tomar prestados terminos no musicales ya que el vocabulario circunscrito inventado para una explicación puramente musical es muy limitado para ests objetivos espectro-morfológicos" (Smalley D, 1985: p.63).

¹⁰ En Francés *grosse*, que puede definirse como grande, espesa, o literalmente gruesa.

constructivo: nota, célula, motivo, frase, estructura, etc, y también, cómo su clasificación se queda un poco limitada en el ámbito de la música concreta, pero gracias a su continua investigación, en 1966 consolida más de quince años de trabajo teórico en su publicación *Tratado de los objetos musicales*. En esta gran obra, Schaeffer hace un análisis más detallado del fenómeno sonoro que va mucho más lejos que la estética de la música concreta, ya que incluye el estudio de la psicoacústica y de la síntesis del material sonoro a través de una *escucha reducida*, una aproximación fenomenológica experiencial de la escucha de los sonidos que hace una abstracción artificial del fenómeno causal. Pero ya desde su primer ensayo, logra hacer un análisis y una síntesis del fenómeno sonoro a través de la concepción de tres planos de referencia.

-*Plan melódico o de tesituras*: la evolución de parámetros de altura en relación al tiempo.

-*Plan melódico o de formas*: la evolución de parámetros de intensidad en relación al tiempo.

-*Plan armónico o de timbres*: la relación recíproca entre los parámetros de altura y de intensidad, representados por un análisis del espectro (Schaeffer P, 1952: p. 205).

Estos tres planos subrayan la importancia y la complejidad del fenómeno del timbre y la necesidad de crear un diagrama que lo pueda explicar (Figura 3). El único problema de este sistema de análisis es que el plan armónico del timbre es contemplado solamente en un instante de la evolución del sonido -Schaeffer propone analizar el espectro en el momento del desarrollo máximo del cuerpo del sonido -. En este sentido, la descripción detallada del espectro total del timbre se vuelve imposible, y como ya lo dije antes, con el desarrollo de las computadoras se podrán realizar análisis del timbre mucho más sofisticados.

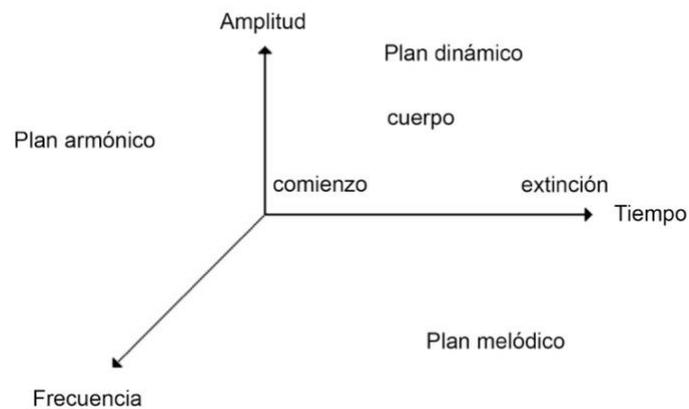


Figura 3. Los tres planos de referencia de Pierre Schaeffer.

Con estos tres planos de referencia Schaeffer intenta describir con precisión los diferentes tipos de sonidos y crea 33 diferentes tipos de criterios para un análisis principalmente morfológico del sonido (análisis de su forma exterior). Un análisis espectral del sonido -análisis del comportamiento de los componentes internos del sonido- va a ser mucho más limitado en este sistema. Sin embargo, con estos 33 criterios podemos tener 54,000 combinaciones diferentes de características sonoras. Es cierto que el diagrama de este solfeo concreto estuvo al servicio de una filosofía de la música concreta, pero a pesar de esto, Schaeffer logra agrandar el vocabulario musical con esta nueva manera de catalogar el sonido, y por ello es un precursor del estudio del fenómeno sonoro en el marco de un nuevo sistema musical totalmente distinto del que existía.

El investigador logra también hacer una distinción importante entre dos elementos diferentes regularmente encontrados en el objeto sonoro. El primero es un espectro complejo asociado con un ataque afilado, o a un cambio abrupto causado por él. El segundo es un espectro que cambia más lentamente, asociado más que nada al cuerpo y a la extinción del sonido. Podemos ver cómo muchos de los sonidos naturales tienen la primera característica, es decir, un cambio rápido y complejo de los parciales del sonido dentro de su primera fase, como en el caso del ataque de una trompeta analizado por Grey y Moorer. Llamamos transitorio el momento crítico de este cambio, y es debido a su complejidad que la síntesis electrónica, incluso la del siglo XXI, hace una imitación

de estos sonidos con un generador de envolvente (ADSR) difícilmente satisfactoria¹¹. Es por esta razón que los sonidos naturales (instrumentales, de la voz, del mundo animal o del medio ambiente) son mucho más complejos que los sonidos creados por síntesis electrónica o digital, y que los compositores de música concreta y electroacústica prefirieron su utilización¹². En cambio, la escuela de música electrónica originada en el estudio WDR (*Studio für elektronische Musik des Westdeutschen Rundfunks*) de la radio de Colonia en Alemania en 1951, prefirió sacrificar la riqueza de estos sonidos naturales grabados utilizando instrumentos electrónicos de síntesis sonora para tener un control total de cada parámetro del sonido¹³.

1.3.2.- La Espectro-Morfología.

Los procedimientos de investigación posteriores al *Tratado de objetos musicales* (1966) de Schaeffer, están centrados en un análisis dinámico morfológico y espectral del sonido, gracias al desarrollo de la física acústica y a la Transformada de Fourier Rápida implementada en la computación, que facilitará un análisis detallado de la evolución temporal del espectro. El compositor y teórico Denis Smalley escribió un artículo a mediados de los años ochenta en el que hace un análisis similar al de Schaeffer, pero en donde se centra en un análisis holístico espectro-morfológico de los sonidos¹⁴ más integrado y avanzado.

No podemos catalogar el timbre con los mismos parámetros teóricos de la música tradicional, ya que no es un elemento medible y lineal como la duración y la frecuencia de una nota que pueden estar representados sin dificultad en una notación musical. Por esta razón, la clasificación del timbre presenta un problema para los teóricos y musicólogos incluso hoy en día. La aproximación de Smalley va a ser la primera que intenta definir una serie de principios fundamentales para poder analizar y entender la

¹¹ Los modelos físicos han probado ser la única técnica de síntesis que puede acercarse a la complejidad de un ataque de un instrumento de viento como la trompeta, pero con un costo alto en cálculo computacional.

¹² Antiguamente, a través de la grabación de sonidos con micrófonos y magnetófonos, o actualmente con computadoras con una tarjeta digital con un dispositivo DAC (digital to analog converter), u otro aparato similar como los Minidisc, DAT, etc.

¹³ Con el uso de osciladores y de la síntesis aditiva (con un sintetizador o con un programa computacional), es posible imitar sonidos instrumentales pero con una calidad pobre, ya que el tiempo de programación para obtener un control detallado de cada parcial es muy costoso.

¹⁴ Denis, Smalley (1985), "Spectromorphology and Structuring Processes", en *The Language of Electroacoustic Music*, editado por Simon Emmerson. London: Macmillan. pp. 61–93.

música electroacústica a través del análisis espectral y morfológico del timbre de distintos sonidos.

Smalley comienza creando una tipología espectral. Define la palabra espectro como la totalidad de las frecuencias perceptibles, y termina con la división del dominio de la frecuencia por tono y timbre. Afirma también que una tipología espectral no puede estar separada del dominio del tiempo (Smalley D, 1985: p. 65). Finalmente, concibe un diagrama definido dentro del concepto de un *continuum*¹⁵ que va desde una nota pura y armónica hasta el ruido total. En este diagrama existen tres puntos centrales de referencia, la nota, que está dividida por nota propia, espectro armónico y espectro inarmónico, el nodo y el ruido. Es importante decir que Smalley se basa en los métodos de investigación de Schaeffer a mediados de los años sesenta, particularmente en el uso de una *escucha reducida* fenomenológica del objeto sonoro que nos abstrae de los factores externos al sonido en sí mismo. La escucha para Smalley es indispensable como una experiencia perceptiva que debemos de colocar en primer lugar en el análisis de un sonido. Es imprescindible olvidarnos temporalmente de "cómo fue construido ese sonido o qué lo causó, para poder concentrarnos en trazar su progreso espectro morfológico" (Smalley D, 1985: p 63).

La nota propia es un tono con una frecuencia pura y bien definida (nota instrumental), en la que al escucharla, predomina su frecuencia fundamental más que su espectro tímbrico. Le sigue el espectro armónico, en donde comenzamos a percibir los armónicos naturales como una extensión de la frecuencia pura de la nota. La percepción de estos armónicos varía según el tipo de sonido que escuchemos (existen sonidos armónicos más o menos ricos), su duración (mientras más dure una nota mas tiempo tendremos para escuchar sus componentes internos), su frecuencia (una nota grave de un piano produce más armónicos naturales que una aguda), la distancia a la que lo escuchemos, o incluso su amplificación y su transformación electroacústica para poder distinguir claramente la evolución de sus componentes (Smalley Denis, 1985: p. 66)¹⁶.

¹⁵ La definición de *continuum* en el Cambridge Dictionary es: algo que cambia en carácter de manera gradual o por pasos muy ligeros sin ninguna división clara de puntos.

¹⁶ "Los componentes espectrales de una nota y su conformación temporal escuchados de manera más íntima o amplificados, se vuelven claros. El cambio focal de una nota propia al comportamiento interno de sus componentes proporcionó un nuevo potencial musical ya que el medio electroacústico hace viable la composición, descomposición

La última división del dominio de la nota es el espectro inarmónico que abarca los sonidos que pueden ser parecidos a los sonidos armónicos (espectros mas o menos armónicos que tienen algunos componentes no relacionados a la serie periódica de parciales de la fundamental), y los sonidos que tienen poca relación con los espectros armónicos como el de una campana.

El segundo grupo está caracterizado por el espectro nodal, en donde tenemos una banda de frecuencias recargadas que resiste a la identificación por el oído de sus distintos componentes. Un ejemplo es "el sonido de un platillo escuchado a lo lejos, donde no distinguimos un tono definido pero si una unidad, metálica y con una rica resonancia", pero si nos acercamos, puede ser escuchado como "una densidad sonora cuya compacidad unificada hace difícil de escuchar su estructura interna de frecuencias" (Smalley Denis, 1985: p. 67). El espectro nodal se encuentra en el umbral del dominio del ruido, y la sola forma de saber que estamos en este nuevo territorio es cuando la densidad del espectro está tan comprimida que ya no es posible escuchar la estructura interna de sus frecuencias. El espectro del ruido no es monocromo, y va a ser tan rico y variado como los espectros armónicos, inarmónicos y nodales. Dos ejemplos pueden ser los ruidos del viento y del océano.

En este continuum hay un momento en el que surge una zona ambigua al escuchar la estructura interna de los componentes del espectro de un sonido. Smalley caracteriza este umbral como un *estado efluvial*¹⁷. Confrontado con este estado, el escucha tiene necesidad de cambiar el centro de atención en la estructura interna de los componentes del sonido y seguir el momentum de su forma exterior. Por otro lado, el contexto dentro del cual escuchamos este estado, determina la manera en la que lo hacemos. En este punto es muy interesante ver como el investigador subraya la importancia del contexto y de la audición para poder clasificar un sonido. Smalley tiene una visión global en donde no divide las categorías de una manera que pudiera parecer arbitraria.

A partir del momento en el que no escuchamos la estructura interna de un sonido,

y desarrollo de interiores espectrales" (Smalley Denis, 1985: p. 66).

¹⁷ Efluvial viene de effluvium (efluvio), una emanación invisible, particularmente un olor o exhalación ofensiva, o bien un subproducto en la forma de un desperdicio. Smalley utiliza esta palabra como una metáfora de esa imposibilidad de poder distinguir y analizar de que esta constituido ese sonido escuchado.

entramos en el dominio de la morfología. Aunque Schaeffer ya había realizado importantes avances en la investigación de las formas de los objetos sonoros, Smalley hace importantes contribuciones. Ambos parten de las mismas premisas que contemplan tres diferentes fases del sonido: el principio, el cuerpo y la extinción, pero Smalley define tres arquetipos morfológicos de base (Figura 4), que combinados de diferentes maneras, nos dan todas las posibilidades morfológicas del sonido. Estas son: ataque-impulso, ataque decaimiento -cerrado y abierto con resonancia-, y continuo graduado -donde no hay un ataque- (Smalley Denis, 1985: p. 69).

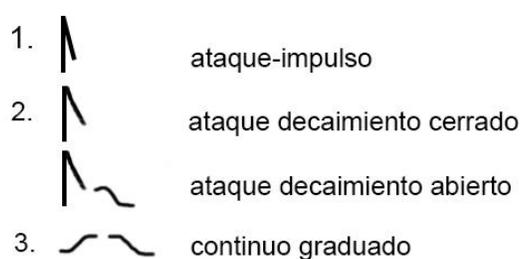


Figura 4. Morfologías Arquetípicas

De estos tres arquetipos fundamentales, podemos deducir múltiples combinaciones de modelos morfológicos (Figura 5).

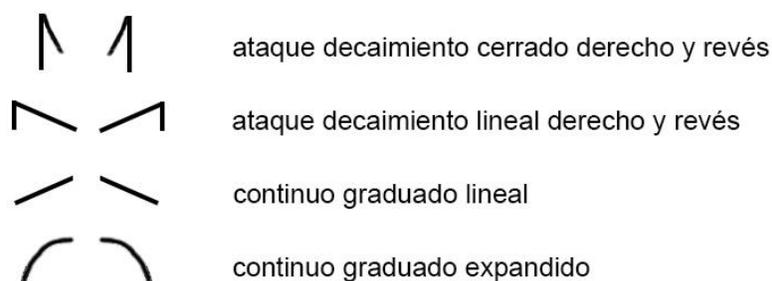


Figura 5. Algunos modelos morfológicos deducidos de los tres modelos básicos.

La investigación de Smalley en el dominio de la morfología se vuelve innovadora al hablar de un continuo efluvial de ataques (Smalley Denis, 1985: p. 72), es decir, de un continuo temporal en donde varios ataques separados en el tiempo se comprimen poco

a poco originando distintas texturas timbricas que ya no se perciben como pulsos separados. Aquí vamos de ataques separados, a una repetición constante que se comprime poco a poco, luego a una percepción granular en donde las impulsiones individuales han perdido su identidad, y finalmente a la desaparición del grano que eventualmente podría convertirse en una frecuencia definida cuando el ataque repetido llega al umbral de 20 repeticiones por segundo (que es la frecuencia mas grave que podemos escuchar) o más.

Una vez mas, Smalley crea un diagrama global dentro del dominio del continuo en donde el contexto de nuestra escucha es muy importante, pero esta vez en el campo de la temporalidad (Figura 6).



Figura 6. El continuo de ataques efluvial.

La investigación de Smalley es muy extensa y abarca incluso los procesos de estructuración sónica en la música electroacústica a partir de la aplicación de sus ideas analíticas. En este ensayo es imposible abordarla extensivamente, pero quiero resumir aquí varios conceptos que me parecen importantes y fundamentales para la comprensión del objeto sonoro en este nuevo marco de complejidad inaugurado por el, así como por algunos otros compositores-investigadores de su generación de los cuales hablaré mas adelante.

El diseño espectro-morfológico, así como la formación y composición del sonido a través de la complementareidad de esta teoría dual, están basados en el movimiento panorámico, base de la tecnología de audio del siglo XX a través de la estereofonía, la

cuadrafonía, etc. Pero el "diseño espectro morfológico por si mismo...al controlar la formación espectral y dinámica de un objeto sonoro, crea movimientos verdaderos e imaginados sin la necesidad de un movimiento real en el espacio" (Smalley D, 1985: p. 73). Smalley crea una tipología del movimiento en donde las distintas categorías "pueden ser aplicadas en distintos niveles estructurales y escalas temporales, desde la forma de un objeto sonoro breve, al movimiento de una estructura prolongada, desde el agrupamiento de objetos sonoros, al agrupamiento de estructuras más largas" (Smalley D, 1985: p. 73). De este modo, Smalley conecta el mundo de lo micro (objeto sonoro) con lo macro (grupos de objetos, estructuras, obra electroacústica), a partir de los mismos principios, estableciendo una base más compleja para poder hacer la conexión sonido-estructura, que es el fundamento de distintas ideas estéticas que desarrollaré más adelante.

Algunas de estas categorías se refieren al movimiento espacial de los objetos sonoros, y otras al movimiento interno de un objeto sonoro o de un grupo formado por varios de ellos, como la *Acumulación*, formada por un movimiento *exógeno* o *endógeno* (crecimiento por sumas al exterior del sonido o desde adentro del sonido). La *Disipación*, formada por una *confracción* (rompimiento en pequeños fragmentos) o por una *difracción* (rompimiento en una configuración de bandas sonoras); o finalmente la *Conglomeración*, que es la formación de una masa compacta u objeto a partir de fragmentos o bandas.

Smalley supera a Schaeffer al describir estos movimientos internos en la estructura de un objeto sonoro, o de un grupo compacto de ellos, y los relaciona a procesos "espectrales de decomposición", que "a diferencia de otros grupos de movimiento son procesos en crecimiento que involucran transformaciones texturales cuyo resultado morfológico es radicalmente diferente al de su estado inicial" (Smalley D, 1985: p. 77).

El ensayo culmina con la descripción de los procesos de estructuración a partir de dos ideas fundamentales, el *gesto* o *gestualidad*, "que concierne una acción dirigida lejos de un objetivo previo o hacia un nuevo objetivo, así como la aplicación de la energía y sus consecuencias", y la *textura*, "que concierne el comportamiento interno de patrones, con una energía dirigida hacia adentro o reinyectada, que se propaga dentro de si misma...y que en vez de ser provocada para actuar, simplemente continua

comportándose" (Smalley D, 1985: p. 82). El gesto tiene su origen en el ser humano, mientras que la textura esta basada principalmente en fenómenos de la naturaleza independientes de nuestro cuerpo. En la siguiente sección abarcaré mas a fondo el concepto de textura sonora, paradigmático en el desarrollo de la música electroacústica. así como de las nuevas músicas instrumentales que dejaron de lado la idea del gesto instrumental para desarrollar una música más matérica, en ocasiones muy cercana a la estética de la electroacústica.

1.3.3.- El fenómeno del timbre como base estética en la música electroacústica.

En los años ochenta y a principios de los noventa, varios compositores-investigadores se interesaron por desarrollar teorías musicales dentro del ámbito de la música electroacústica, en donde el aspecto timbrico fuera central. Lo que es común en sus investigaciones, es que toman conciencia de la importancia de un conocimiento profundo del fenómeno timbrico para poder crear una nueva estética musical válida. Para esto, fue necesario el estudio de otros fenómenos que no son musicales ni acústicos, como la semiótica¹⁸ por ejemplo, ya que en la música electroacústica el contexto es más importante que en la música instrumental, particularmente porque la mayoría del tiempo no conocemos la fuente ni el gesto que dieron lugar a los sonidos que son reproducidos por una banda magnética o actualmente por una computadora, y muchos sonidos de la naturaleza revelan un significado meta sonoro que serán percibidos de acuerdo al contexto en el que son escuchados¹⁹. Por otro lado, podemos manipular fácilmente un objeto sonoro de una manera en que lo volvamos un poco artificial²⁰. Es como hacer una

¹⁸ La semiótica del sonido se ha desarrollado muy poco o prácticamente nada, mientras que la semiótica de la música instrumental si, al igual que la semiótica de la imagen que en la actualidad sigue siendo criticada por los semiólogos estrictos y tradicionales que se apegan tan solo al lenguaje. Es necesario desarrollar una semiología del sonido como herramienta para explicar los fenómenos meta sonoros, es decir, de las imágenes sónicas que generan significantes diversos de su fisicalidad timbrica y acústica.

¹⁹ Un ejemplo de como el contexto de escucha cambia la percepción de los sonidos es el siguiente: un sonido electrónico de síntesis con una modulación que origina un vibrato rápido, en el contexto de una obra electroacústica con sonidos de insectos, se convierte automáticamente para nuestra escucha en un sonido de insecto. En cambio, un sonido de un insecto en una obra de síntesis electrónica podría pasar como un sonido electrónico y no de un insecto.

²⁰ Para Denis Smalley y otros compositores como Trevor Wishart, debemos por lo menos intentar tomar conciencia de la causalidad del sonido, es decir, de aquello que ocasionó un sonido, ya que el gesto es todavía uno de los elementos principales dentro de la música. Sin embargo, pienso que esto es relativo ya que mucha de la música electroacústica que se hace hoy en día puede ser arte sonoro que no busca trasminir una musicalidad, sino imágenes sónicas-visuales más cercanas a la pintura abstracta o a la escultura, alejando esas obras del territorio gestual musical.

escultura cuya forma demandada materiales específicos (queremos que sea afilada, putiaguda, por ejemplo) con la materia inadecuada (plastilina).

Para entender la importancia de este período de creación-investigación, en donde se fundan las bases de una estética de la complejidad basada en el timbre dentro del campo estético de la música electroacústica, hablaré brevemente de los trabajos teóricos de dos compositores-investigadores de esta época que para mí son fundamentales.

En su libro *On sonic art* (1985), el compositor inglés Trevor Wishart, al igual que Smalley, investiga la evolución espectral armónica dinámica de los sonidos, y advierte cómo un sonido de piano y flauta son muy similares en su espectro en el rango medio de frecuencias, pero se diferencian totalmente a causa del ataque percusivo del piano ausente en el sonido de la flauta²¹. El compositor considera que los objetos sonoros que tienen una morfología dinámica preponderante, deben ser considerados más por sus características morfológicas externas que por su timbre interno, y que la música debe organizarse a partir de las relaciones o procesos de materiales percibidos. Para poder realizar esto, "es necesario un análisis de los materiales sonoros basados e sus propiedades percibidas, un análisis fenomenológico de los sonidos" (Wishart T, 1985: p. 39). Wishart parte de las mismas premisas fenomenológicas que Schaeffer y Smalley, pero dándole una importancia mayor a la morfología dinámica de los sonidos que al espectro tímbrico, enfocándose en las distintas texturas sonoras de los sonidos de la naturaleza y de la voz humana²², el único instrumento capaz de realizar timbres con una complejidad equiparable a la de los fenómenos sónicos naturales con morfologías dinámicas complejas. De este modo, Wishart se interesa particularmente por las morfologías dinámicas inestables a las que llama *Multiplexos*, en donde "el estado inmediato del objeto es el de un cambio constante y de una manera discontinua" (Wishart T, 1985: p. 53). Por otro lado, su investigación es cercana a la de Smalley en cuanto a considerar a los objetos sonoros como "totalidades o gestalts con varias propiedades, más que como una colección de parámetros" (Wishart T, 1985: p. 52). Finalmente

²¹ "El descubrimiento de que el timbre en sí mismo es parcialmente dependiente de las características de la evolución espectral es nuestro primer enlace con los sonidos de morfología dinámica...en donde la percepción del espectro frecuencial, amplitud, envolvente, etc, evolucionan todos en el tiempo" (Wishart T, 1985: p. 37).

²² Para Wishart, la voz humana es el único instrumento capaz de realizar timbres igual de complejos que los de fenómenos naturales con morfologías dinámicas complejas.

propone la categorización de morfologías sonoras en arquetipos definibles, y realiza una taxonomía detallada de estas morfologías complejas y de sus evoluciones dinámicas estables e inestables, encontrando una variedad limitada de sesenta y seis arquetipos gestuales básicos, con los cuales pueden surgir una inmensa variedad de combinaciones que generen sonidos distintos. "Podemos describir 14, 106, 536 posibles articulaciones de una nota musical estandar, pero si entramos en el campo del continuum verdadero y consideramos los movimientos del portamento y de las transformaciones de timbre y frecuencia del sonido a través del tiempo, descubrimos cincuenta mil millones de objetos sonoros perceptiblemente distinguibles" (Wishart T, 1985: p. 67).

Barry Truax fue un pionero²³ junto con Curtis Roads en utilizar y desarrollar las técnicas de la síntesis granular -de las que hablaré más adelante en detalle- en los años ochenta a través del desarrollo de su sistema computacional PODX²⁴. También fué, junto con Smalley y Wishart, uno de los críticos acérrimos de la linealidad de la música occidental conformada por una escala limitada y definida de doce tonos orientada por rejillas ("latticed oriented"²⁵). Influido por las teorías de caos y por el indeterminismo estocástico propuesto por Iannis Xenakis a finales de los años 50, Truax imagina una música compleja no lineal y contextual que se relaciona de manera íntima con el medio ambiente²⁶.

"Un cambio paradigmático nos llevará a modelos de parámetros interrelacionados que darán como resultado percepciones complejas. Habiendo utilizado modelos lineales por siglos para explicar fenómenos de manera literal, es decir, para reducir sus múltiples dimensiones al proyectarlos en superficies de dos dimensiones, necesitaremos un cambio conceptual y lingüístico considerable para establecer nuevos modelos de complejidad en esta área...un nuevo modelo estará caracterizado

²³ Dennis Gabor fue el primer científico en proponer la utilización de granos sonoros, y Iannis Xenakis el primer compositor en implementar un sistema a finales de los años 50. Luego Curtis Roads implementó un sistema de síntesis granular sintética a principios de los 70's en la Universidad de UCSD en California. Finalmente, Truax desarrolla su sistema PODX -que fué mucho más complejo que los anteriores- a mediados de los 80 en la Universidad de Simon Fraser en Canadá.

²⁴ El PODX estaba constituido por un procesador de señal DMX-1000 controlado por un PDP Micro 11 (Rocha Iturbide M, 1999: p. 41).

²⁵ Término utilizado por Trevor Wishart en su libro *On sonic art* (Wishart T, 1985: pp. 15-20)

²⁶ De hecho, esta música compleja que Truax imagina estaba ya siendo creada por él con su sistema PODX. En 1986 compone *Riverrun* a partir de granos sintéticos, y en 1990 compone *Pacific* a partir de su sistema de síntesis granular temporal en donde granula sonidos del medio ambiente.

por niveles que interaccionan, con mensajes y retroalimentación entre ellos, auto organización y paralelismo masivo. Estos sistemas tendrán también una relación equilibrada con el medio ambiente; de hecho, el contexto será visto como parte del sistema en si mismo" (Truax B, 1992: p. 30).

La complejidad que contempla Truax no deriva solamente de las relaciones internas del sonido (como en la música occidental) sino también de las externas, y de esta manera visualiza una conexión íntima entre sonido y estructura, pero también entre la música y su contexto:

"Este movimiento simultaneo hacia adentro y hacia afuera provee una manera de integrar sonido y estructura, cuya separación ha sido un sello de la tradición de la música instrumental...tanto el arte como el medio ambiente se han deteriorado por su separación, y una reunión no puede venir demasiado pronto" (Truax B, 1992: p.).

Mi investigación doctoral acerca de las técnicas de la síntesis granular, así como mi trabajo con el investigador Gerhard Eckel en los laboratorios del IRCAM en 1995, para la creación de un sistema de síntesis granular (GiST) a partir de FOF's (granos con espectros formánticos), generó la idea del *macro objeto sonoro*²⁷ que abordaré más adelante.

Estos distintos enfoques teóricos existieron gracias a los trabajos prácticos que estos compositores-investigadores pudieron realizar en los laboratorios de música electroacústica, y más tarde de música por computadora. Los más importantes fueron el GRM fundado por Pierre Schaeffer en 1958 en Radio Francia, el Instituto de Sonología en Utrech Holanda fundado en 1960²⁸, y distintos laboratorios en los departamentos de

²⁷ La base de la idea de un macro objeto sonoro fue postulada por primera vez en un ensayo presentado en ICMC en 1995 en Banff Canadá con los resultados de nuestra investigación. "En el contexto de este proyecto, la principal motivación de utilizar síntesis granular fué su capacidad para permitir un enlace natural y rico entre la organización temporal y espectral. Buscamos un método de síntesis que nos permitiera componer el sonido tanto en el micro como en el macro nivel " (Eckel G & Rocha Iturbide M, 1995: p. 267). Luego yo seguí desarrollando esta idea en mi tesis doctoral (1999) así como en dos ensayos vinculados a esta: "Desdoblando el objeto sonoro natural en la música electroacústica" (1996) y "Buscando una técnica de síntesis global a través de la concepción del cuanto sonoro" (2007).

²⁸ Este instituto comenzó bajo el nombre de STEM como sucesor del primer estudio de música electrónica en la Philips Reserch Laboratoires en Eindhoven. En 1967 toma su actual nombre y en 1986 se mueve al conservatorio de la Haya. Es importante decir que muchas de las investigaciones del instituto se basaron más en la síntesis sonora que en el tratamiento de señal del sonido o en la experimentación con las cintas magnéticas, pero muchos compositores participaron y tomaron cursos allí, desarrollando importantes sistemas que favorecieron el desarrollo de la estética de la música electroacústica como Barry Truax, Paul Berg y Joel Ryan.

música de las Universidades de EUA o en las Radios de distintos países de Europa, en los que los compositores experimentaron primero con las grabadoras magnetofónicas (cortando la cinta, acelerándola y desacelerándola, filtrando los sonidos de diversas maneras y mezclándolos) y luego con los nuevos sistemas digitales de síntesis sonora, muestreo y tratamiento de señal, dando lugar así a nuevos procesos compositivos.

En los primeros laboratorios de sonido e informática se hicieron investigaciones científicas en el campo teórico y práctico que abonaron enormemente para las investigaciones antes mencionadas. En el laboratorio de telefonía Bell en EUA en los años 60, algunos ingenieros con formación musical hicieron los primeros experimentos de síntesis y tratamiento de señal sonora. Luego, en el instituto de investigación y coordinación acústica música (IRCAM) en Francia, a principios de los años 70, por primera vez se liga el aspecto científico de estas búsquedas con el musical. No obstante, en estos laboratorios, herederos de las primeras investigaciones de la síntesis sonora en la radio de Colonia, los investigadores (casi siempre ingenieros y no compositores) se interesaron sobre todo por los sonidos instrumentales y de la voz humana, y no en la idea del objeto sonoro y de una música electroacústica con una estética no lineal, compleja y completamente novedosa. Afortunadamente, al final las estéticas de la música electroacústica y de la música por computadora (que comenzó con un enfoque instrumental), se fueron fusionando con el tiempo en una misma idea estética, la de la transformación dinámica morfológica de sonidos complejos en el tiempo.

Trabajando con la materia sonora, el compositor tendrá una interacción con el timbre y esta interacción dará lugar a nuevas ideas para estructurar la obra electroacústica. La diferencia con la música instrumental contemporánea que también se basa en el trabajo del timbre (como la corriente espectral antes vista), es que el compositor electroacústico va a cambiar completamente su proceso creativo. Comenzará con la experimentación y con darle forma a la materia sónica misma, y solo después estructurará la composición. El compositor instrumental en cambio, continúa pensando hoy en día en la forma y en la estructura de la obra en primer lugar, y por esta razón, la estética de la música electroacústica es esencialmente distinta²⁹.

²⁹ Es notable ver que todavía hay compositores que influidos por la corriente de música electrónica surgida en Alemania en , y luego en centros como el IRCAM en Francia, continúan componiendo su música electrónica de la

1.4.- La música por computadora, último eslabón de la transformación del timbre.

Con el desarrollo de la informática en los Estados Unidos de América en los años sesenta surgió la posibilidad de hacer síntesis analógica electrónica (por medio de la creación de osciladores digitales), y de grabar y manipular audios digitalizados mediante filtros, distintas velocidades de lectura, retardos, ecos, etc. Con la programación algorítmica aumentaron las posibilidades de tener un control más preciso sobre los diferentes parámetros de la síntesis y del tratamiento de una señal sonora (Digital Sound Processing). Sin embargo, en los inicios la poca velocidad y capacidad de las computadoras provocaron que el muestreo de sonido y el tratamiento de señal (DSP) fuera muy limitado. Los compositores entonces se centraron más en el uso de algunas técnicas de síntesis sonora que requerían poco RAM. Una vez que la tecnología digital evolucionó en las tres últimas décadas del siglo pasado, los compositores que se habían limitado al uso de sonidos electrónicos digitales de una calidad pobre pudieron aprovechar ahora la riqueza de los sonidos naturales. Trabajando con la computadora, poco a poco el dominio de la síntesis electrónica y del muestreo de sonido se hibridizaron, dando lugar a nuevas posibilidades para esculpir el sonido de una manera detallada.

En los inicios de los años noventa, la música electroacústica sobre cinta magnética y la música electrónica basada en el uso de sintetizadores análogos fueron superados por la computadora (en lo que concierne al trabajo del timbre), ya que las posibilidades de manipular el sonido fueron superiores. La sola desventaja fue la lentitud de la interacción entre el compositor y los procesos sonoros, en muchos casos muy largos debido a los complejos cálculos de algunas técnicas de procesamiento de señal, como por ejemplo estirar un sonido por medio de un algoritmo de vocoder de fase³⁰. Por otro lado, antes del nacimiento de los programas de música comerciales, para hacer

misma manera en la que estructuran sus obras instrumentales. Aquí, la tecnología y los nuevos medios de producir el sonido cambiaron muy poco o nada la estética musical

³⁰ En el año de 1989, para estirar un sonido estéreo de 5 segundos a 60 segundos, por medio de un phase vocoder digital, a la computadora central de Mills College, una SUNW, le tomaba ocho horas o más hacerlo, mientras que en la actualidad ese proceso es casi instantáneo. En 1992, ya con la tecnología de computadoras personales con bastante potencia como la Macintosh II C, hacer una convolución de un sonido de 3 segundos multiplicado por otro, tomaba por lo menos 20 minutos.

música electrónica o electracústica por computadora era necesario tener conocimientos de acústica, de matemáticas y programación. Por esta razón, la investigación del timbre en el dominio de la informática se volvió más científica y pocos compositores e instrumentistas tuvieron acceso a ella. La colaboración entre ingenieros y compositores se volvió imprescindible, y así surgió la necesidad de crear centros de investigación de música, acústica e informática, en distintas universidades de los EUA y luego en Europa, siendo la mayor parte de ellos financiados por el estado, como es el caso del IRCAM en Francia.

El uso de los sonidos naturales en la informática comienza en 1958 con el trabajo de Max Mathews y sus colaboradoras en los laboratorios de telefonía *Bell Labs*. A finales de los años sesenta, gracias a la digitalización numérica del sonido y a los avances en el cálculo computacional, se pudo analizar el espectro de un sonido en el tiempo y hacer luego una *resíntesis* a partir de los datos obtenidos de la evolución de cada parcial, recomponiendo la estructura interna del sonido original. De este modo se inauguró la exploración de diferentes espectros armónicos e inarmónicos, y en lugar de componer con los sonidos, la facultad de "componer el sonido en sí mismo" (Risset JC, 1991: p. 240) como si fuéramos joyeros o escultores³¹. Con el tiempo y los avances en las investigaciones, surge la posibilidad de transformar el sonido y de crear timbres inexistentes engendrados por la combinación de espectros de sonidos naturales (convolución)³². De este modo, es posible cambiar por ejemplo el envolvente de un sonido y sustituirlo por el envolvente de otro con precisión, creando así sonidos híbridos. Por ejemplo, el sonido de un güiro con el envolvente de una cigarra se transforma en un güiro que gesticula como la cigarra, o un acorde de piano con el envolvente de una voz que habla se convierte en un piano parlante (síntesis cruzada fuente-filtro)³³. La cantidad

³¹ "Lo que me atrae con la computadora no son las posibilidades de cálculo en sí mismas sino su capacidad de responder a mis deseos extremadamente personales y específicos por esculpir el sonido con fineza y delicadeza" (Risset JC, 1991: p. 240).

³² La convolución es un tipo de síntesis cruzada que hace esto posible, pero esta técnica no fue utilizada por los compositores hasta inicios de los años noventa. Es importante aclarar que las investigaciones y el descubrimiento de las distintas técnicas para esculpir el sonido con la computadora tomaron dos largas décadas (desde finales de los sesenta hasta principios de los años noventa).

³³ El ejemplo del güiro-cigarra es verdadero, en 2008 realicé la composición *Ecosistemas* para seis canales en los estudios del IMEB en Bourges Francia. Estos sonidos fueron creados con el programa *Audiosculpt* creado en el IRCAM en 1993 con el algoritmo de *síntesis cruzada source filtre* (fuente filtro). Volví a usar esos sonidos en mi composición *Casi Nada* (2011).

de metamorfosis posibles es fascinante, ya que es posible por ejemplo sintetizar el sonido de una trompeta y transformarlo gradualmente en el de un clarinete por interpolación. Finalmente, podemos también utilizar las técnicas de manipulación de la frecuencia de un sonido (alentándolo o acelerándolo por medio de un cambio de velocidad de la lectura) que se usaban con un magnetófono, pero con la ventaja de tener una mayor precisión y la posibilidad de multiplicar el procedimiento³⁴. Podemos alargar un sonido sin cambiar su frecuencia o cambiar la frecuencia sin cambiar la duración (con un phase vocoder y otros algoritmos nuevos). Podemos filtrar, reverberar, realizar efectos de retardos, programar cualquier técnica de síntesis, con la ventaja de poder programar nosotros mismos el instrumento combinando todas las técnicas de transformación sonora que necesitemos en un mismo proceso.

La computadora se convierte en la herramienta perfecta para modelar los sonidos y para analizar las distintas cualidades del timbre, y a partir de este momento (años noventa), las investigaciones musicales y acústicas importantes tuvieron que basarse en el dominio de lo digital. Los centros de investigación basados en la manipulación de cintas magnéticas reconocen las ventajas de la computadora y digitalizan su sistema de producción sonora. Como en GRM que desde los años setenta comienza a desarrollar un sistema de transformación de sonidos llamado SYTER que hoy en día es uno de los programas comerciales más exitosos en el mundo (GRM Tools). La investigación ya no está dividida como antes, y gracias al paulatino desarrollo de las computadoras comerciales a precios mas accesibles, surgieron nuevos laboratorios de creación e investigación en todo el mundo. Hoy en día, las computadoras personales son tan potentes, que muchos de los laboratorios financiados por el estado en países del primer mundo han desaparecido por el alto costo de su manutención.

La informática abrió también una nueva posibilidad, la de trabajar con el timbre en tiempo real, particularmente en este siglo debido a la gran rapidez del cálculo de los nuevos ordenadores comerciales. La música mixta (instrumentos y electrónica) llamada "Live Electrónica" evolucionó gracias a las numerosas posibilidades de transformaciones

³⁴ El primer instrumento magnetofónico para transformar la frecuencia de los sonidos grabados en una cinta, el Phonogène, fue inventado por Pierre Schaeffer en 1953 y tan solo se construyeron tres. En el presente, con una computadora, cada individuo es capaz de diseñar sus propios instrumentos y hacerlos tan híbridos y complejos como uno quiera.

sonoras en vivo que antes no eran posibles. Por otro lado, la manera de mezclar en la era de la música para cinta era en vivo y gestual, limitando la estética de la obra a esa posibilidad que todavía es importante, pero ahora podemos hacer lo mismo o no, podemos automatizar todos los parámetros o solo algunos de ellos. Del mismo modo, la utilización de instrumentos electrónicos analógicos designan otra estética importante que no debe desaparecer³⁵, pero para un trabajo detallado y delicado con el timbre desde el enfoque del objeto sonoro, seguimos estando obligados al uso de un ordenador. Finalmente, la última gran ventaja del uso de las computadoras en la creación y diseño sonoro es la posibilidad de inventar distintos ambientes de trabajo, ya que ahora podemos ser nuestros propios ingenieros³⁶.

Una vez más, hay que remarcar que la investigación al rededor del timbre estuvo estrechamente ligada a la práctica dentro del estudio electroacústico y luego en los centros de informática musical, así como a una colaboración valiosa entre ingenieros, físicos acústicos y músicos. En algunas universidades y centros estas investigaciones se han vuelto cada vez más científicas, abrazando campos relacionados de manera indirecta con la estética musical como la acústica, la psicoacústica, la espacialización del sonido, etc, pero en otras siguen estando centradas en la creación y abonando para dar lugar a nuevas estéticas musicales. El campo científico es fundamental para comprender nuestra percepción auditiva y la manera en la que el fenómeno sonoro interactúa con nuestro cerebro, pero el juicio subjetivo y la experiencia del creador sónico siguen siendo importantes. La investigación conjunta entre "Creador" y "Científico" se complementan y abre caminos transdisciplinarios nuevos en los que el creador se convierte un poco en científico y el científico en creador. Las investigaciones han dado lugar a la creación de obras que están basadas en los fenómenos sonoros estudiados, y así, la búsqueda se ha convertido en una fuente de inspiración y en una manera de crear nuevas estructuras sónicas.

³⁵ Mover las perillas en tiempo real (como los faders en una mezcladora), y la inestabilidad de los procesos de la síntesis abren el campo del azar y posibilidades nuevas. La automatización de parámetros nos puede limitar enormemente y en este sentido nunca descartaré el uso de la síntesis con instrumentos análogos, o bien de aquellos digitales que los simulan.

³⁶ Tener sonidos fijos espacializados y sonidos transformados en vivo al mismo tiempo por ejemplo.

2.- Las técnicas sonoras digitales.

La llegada del dominio digital y el uso de distintos algoritmos, nos permitió combinar diferentes transformaciones del sonido, la posibilidad de determinar nuestros propios parámetros, y tener un control detallado de ellos. El desarrollo de la tecnología sonora digital comercial, copió y mejoró los procesos electrónicos analógicos convirtiéndolos en aplicaciones que se siguen usando hoy en día en los estudios de grabación profesionales, pero que son muy costosos para el compositor o creador sonoro que no trabaja en el mundo de la música comercial³⁷. Por otro lado, los investigadores del campo informático musical han desarrollado sistemas más abiertos (open oriented languages) que nos permiten tener todas las técnicas antiguas de manipulación a nuestra disposición, tanto en programas libres (freeware) como *Pure Data* (1996), diseñado por Miller Puckett, el creador de la estación musical del IRCAM (IMW) en 1989 y basado en ese mismo sistema, como en softwares comerciales, como MAX MSP, también basado en el sistema original de Puckett, pero comercializado por OPCODE primero como sistema MIDI (1990) y luego como sistema con procesamiento de señal sonora (1999). Otro programa libre importante surgido a mediados de los años noventa es Super Collider, diseñado por James McCartney. Curiosamente, aunque existen otros programas comerciales y libres, estos son a la fecha los tres más poderosos e importantes para la creación de música contemporánea. Podemos dividir las distintas maneras de trabajar con el sonido con una computadora en tres grupos.

2.1.- Técnicas de tratamiento de señal digital. Copia y mejoría de las técnicas analógicas del tratamiento de señal, y la creación de otras técnicas nuevas a partir de su combinación.

2.2.- Técnicas de síntesis sonora. Distintos tipos de síntesis tradicionales o nuevas, aplicadas o no a muestras sonoras.

2.3.- Técnicas de análisis-síntesis. La síntesis de sonidos a partir del análisis y de la transformación de los elementos que los componen en una re síntesis.

³⁷ De la misma manera, los compositores de música concreta y de la música para cinta (tape music) usaron el magnetófono que no fue creado para el desarrollo de una música nueva.

2.1.- Técnicas de tratamiento de señal digital (DSP).

El grupo de investigación musical de Radio Francia (GRM), desarrolló a partir de 1975 el sistema Syter (Síntesis en tiempo real), cuya versión operacional total fue terminada en 1984. Trabajaba en tiempo real y con sonidos con una calidad de muestreo de 32 Kilo Hertz, usando un procesador de señal que usaba el sistema se llamaba SYTER, y estaba conectado a una computadora PDP 11/23, con dos entradas y ocho salidas y la posibilidad de un control en tiempo real mediante un mouse y una pantalla gráfica. El diseño estuvo basado en la transformación de objetos sonoros a partir de las bases de la música concreta, luego llamada acusmática, y que hoy en día se comercializa con un programa comercial llamado GRM Tools. El SYTER desarrolló nuevas posibilidades de transformaciones sonoras, ya que podíamos mezclar distintos módulos de procesamiento de señal (osiladores, envolventes, retardos, armonizadores) dentro de un mismo instrumento³⁸, obteniendo efectos innovadores (Teruggi D, 2007: p. 225).

Gracias a su interface gráfica y a la posibilidad de interpolar valores de manera gradual en tiempo real, el Syter fue uno de los primeros sistemas en el que fue posible crear sonidos con posibilidades de transformación muy ricas, y de una manera natural, gestual y musical³⁹. En el presente, GRM Tools esta pensado para computodras personales con procesadores más lentos. Tiene menos funciones que el Syter, todos los parámetros estan automatizados y aunque es posible crear controles externos via MIDI, no son tan funcionales y orgánicos como los de la Syter original. No obstante, la calidad de los procesos diseñados en GRM Tools es muy buena, a la fecha sigue teniendo el mejor bancos de filtros en peine que existen en el mundo digital. Es posible que en un futuro próximo aparezca una versión parecida a la inicial.

En el mundo de la música comercial existe una gran variedad de plugins para transformar sonidos que no pueden ser abordados aquí por falta de espacio. No fueron diseñados para el compositor de música electroacústica y por lo tanto tienen limitantes en cuanto al control en tiempo real, pero en muchos casos ya es posible controlar sus

³⁸ Uno de los instrumentos era FLT8, un banco de 8 filtros resonantes con un control independiente de amplitud para cada uno, y un control global de la banda de filtraje para todos. A estos filtros se les añade un control de resonancia global (delay). Aquí, se mezclan filtros con el efecto de delay.

³⁹ Para esto fue creada una pantalla para interpolar los diferentes valores de los parámetros. Por ejemplo, le computadora memorisa una modificación específica de parámetros, luego otra, y luego nos permite ir gradualmente de un set de parametros al otro gracias a una interpolación programada.

parámetros en tiempo real con envolventes utilizando programas externos como Reaper (un programa de mezcla freeware). Por otro lado, siempre será posible que el diseñador de sonidos decida hacer su propio programa y sus propios controles en las plataformas abiertas que ya describí antes, como MAX MSP, Pure Data y Super Collider.

2.2.- Técnicas de síntesis sonora.

2.2.1.- Técnicas tradicionales.

Llamo técnicas tradicionales a las primeras técnicas de síntesis sonora analógica como la AM y la modulación en anillo, y otras más recientes como la FM con las que podemos transformar el espectro de distintos objetos sonoros. Aunque es posible crear objetos sonoros sintéticos a partir de estas técnicas, y crear una obra electroacústica basada en la micro estructura de estos objetos básicos (la idea de la conexión objeto sonoro-estructura que desarrollaré más adelante es central en este ensayo), en esta investigación decidí dejar de lado ese universo, ya que en general la complejidad timbrica morfológica de estos sonidos no es muy rica, o bien es demasiado sintética y artificial, salvo en el caso de la síntesis por frecuencia modulada inventada por John Chowning, una síntesis que provee "un medio de una gran simplicidad de control de los componentes espectrales y su evolución en el tiempo"⁴⁰ (Chowning J, 1977: p. 46). Sin embargo, en este ensayo me he enfocado en la transformación de objetos sonoros grabados de la vida cotidiana, o bien creados con distintos objetos o instrumentos musicales experimentales, por ser sonidos más complejos en su dualidad espectro morfológica. En esta sección veré más adelante como otros tipos de síntesis pueden proveer esta complejidad.

El uso de las técnicas de síntesis tradicional se lleva a cabo a partir de ondas sonoras simples (sinusoidales) o complejas (diente de sierra, triangular, cuadrada, etc) por medio de la modulación de una o varias ondas por otra(s). También es posible modular un sonido grabado para cambiar la estructura de su espectro interno. Por medio

⁴⁰ Esto es cierto, pero la FM no puede producir los sonidos ruidosos complejos que son parte de sonidos instrumentales como la flauta transversa (el soplo) o de la presión del arco en un instrumento de cuerda (espectros densos y ruidosos) que los vuelven complejos en su dualidad espectro morfológica.

de una síntesis AM⁴¹, se pueden crear dos bandas de frecuencia suplementarias por cada parcial del sonido grabado, más la frecuencia original cuando la modulación está en su punto máximo (las dos bandas suplementarias de cada parcial tienen la mitad de la amplitud del parcial original y su frecuencia dependerá de la frecuencia de la onda modulante), y gracias al parámetro de la modulación podemos hacer que esas side bands aparezcan poco a poco o desaparezcan, pudiendo tener un control espectral temporal del resultado sonoro. También podemos hacer variar las frecuencias de las side bands en el tiempo creando glissandos temporales. Con la FM sucede lo mismo, pero lo que se modula son los parciales del sonido sampleado, pero en este caso, cuando el valor de la modulación se incrementa surgen cada vez más side bands, de manera que con tan solo dos ondas sinusoidales podemos obtener espectros muy densos. Aquí el problema es que un sonido sampleado puede tener un espectro que ya de entrada tiene una cierta densidad, pudiendo de este modo fácilmente saturar el resultado del espectro final convirtiéndolo en un sonido ruidoso que deja de ser espectral en la escucha. Por otro lado, con la modulación en anillo, simplemente se multiplica la amplitud de dos sonidos generándose dos side bands como en la AM, pero en este caso los parciales del sonido original desaparecen, es una duplicación del espectro (en la AM es una triplicación del espectro) y las frecuencias resultantes dependerán de la frecuencia de la onda modulante. La modulación en anillo entonces es muy eficaz para afectar por ejemplo un sonido natural armónico como una nota de piano, para volverlo inarmónico modulando sus parciales con una onda sinusoidal cuya frecuencia no sea un múltiplo de la serie de armónicos naturales de esa nota del piano. Mediante una modulación más compleja llamada *single side-band modulation* (Dodge C & Jerse T.A, 1985: p. 85), es posible alterar cada parcial del espectro sin duplicarlo (y volverlo denso), y moverlo hacia arriba o hacia abajo, en el caso del piano creando armonicidad o inarmonicidad dependiendo de la frecuencia. Este algoritmo fue implementado en la estación musical del IRCAM (IMW) con un objeto llamado Pitch Shifter, con el cual transformé el espectro

⁴¹ En la AM un oscilador sinusoidal o de una onda compleja modula la amplitud de otro oscilador sinusoidal o de una onda compleja. En el caso de dos ondas sinusoidales, las frecuencias resultantes son la frecuencia de la onda modulada, por ejemplo 400 Hz, más la frecuencia de la onda moduladora y menos la frecuencia de la onda moduladora. Si la moduladora es de 50 Hz, tendríamos tres frecuencias con modulación máxima. 350 Hz, 400 Hz y 450 Hz. Las amplitudes de las dos side bands (350 y 450 Hz) son de la mitad de la amplitud de la onda modulada (400 Hz).

de un slap de trompeta doces veces, transportando los parciales cada vez más hacia los agudos, y realizando luego una síntesis granular en la que la lectura de los granos de los 12 slaps se va moviendo hacia los armónicos agudos⁴² (Rocha Iturbide M, 1999: p. 113).

Se pueden usar otros tipos de síntesis tradicionales para manipular un objeto sonoro natural como el uso de un Wave Shaper, que al igual que la FM es una síntesis de distorsión, pero al igual que con la FM, esta técnica puede producir una gran cantidad de parciales nuevos sobre un sonido que ya de entrada tiene un espectro medianamente denso por lo que su uso no es muy eficaz si queremos mantenernos en un campo espectral audible (reconocer los componentes internos del espectro).

2.2.2.- Técnicas complejas.

Llamo técnicas de síntesis complejas a aquellas que producen sonidos cercanos o iguales a los que se producen en la naturaleza o por el ser humano con distintos instrumentos acústicos, con las manos con distintos tipos de objetos, con artefactos mecánicos, etc.

a) Physical Modeling (Modelamiento Físico).

La técnica de Physical Modeling no es nueva ya que surgió a partir de los métodos de *digital wave guide*⁴³ implementados por Julius y Smith a mediados de los años ochenta, y por un algoritmo desarrollado por Karlplus y Strong en 1983, pero no fue implementada hasta finales de los años ochenta gracias al desarrollo del algoritmo de Karlplus y Strong, así como al incremento de velocidad del procesamiento de señal digital (DSP) en las computadoras (Bilbao S, 2001: p. 28). El IRCAM desarrolló el programa Mosaic (luego Modalys) a principios de los años noventa, basado en la síntesis modal (una de las técnicas del modelamiento físico), que es capaz de descomponer el comportamiento dinámico complejo de un objeto que vibra en una serie de modos (Bilbao S, 2001: p. 26). Con este programa es posible inventar sonidos instrumentales completamente nuevos, ya que podemos describir el cuerpo de un instrumento y su

⁴² Granulando los slaps de trompeta de manera azarosa, primero entre los slaps 1, 2 y 3, luego 2, 3 y 4, luego 3, 4 y 5, etc.

⁴³ La compañía Yamaha desarrolló junto con los investigadores de la Universidad de Standford el primer sintetizador comercial que utilizó un modelamiento físico en 1994, llamado Yamaha VL1 que utilizaba esta técnica.

dimensión (un tubo por ejemplo), su material (metal, madera, etc), en donde van los orificios, y con que tipo de excitación lo podemos hacer vibrar⁴⁴. El problema de estas técnicas es que son computacionalmente muy costosas, es decir, el tiempo de procesamiento es muy largo debido a una gran cantidad de operaciones algorítmicas que se tienen que hacer, por lo cual siguen siendo poco utilizadas.

b) Las técnicas de síntesis granular.

En 1975, Curtis Roads intentó verificar y experimentar con las teorías del cuanto sonoro de Gabor, Wiener y Moles, construyendo un sistema informático automatizado para la generación de granos sonoros sintéticos⁴⁵ en la Universidad de UCSD en California con el sistema informático Borroughs B6700 y con el programa Music V desarrollado por Max Mathews a finales de los años sesenta (Rocha Iturbide M, 1999: p. 35). Sin embargo, esta técnica no fue conocida hasta una década después.

La síntesis granular ha probado ser con los años una de las técnicas más potentes y convenientes para transformar los sonidos naturales o para crear sonidos sintéticos complejos, y es muy fácil de implementar en cualquier sistema informático. Esta consiste en la generación de miles de granos sonoros -la duración de cada grano es de entre 10 y 50 milésimas de segundo para crear eventos acústicos llamados nubes granulares. Estas masas sónicas texturales nos dan una sensación de espacio y volumen. Si la duración de todos los granos es similar, el espectro del timbre resultante es más rico ya que surge un fenómeno de amplitud modulada. También podemos usar un retardo corto entre los granos y aumentarlo, dando lugar a una desarticulación de la fusión de la textura granular, y subsecuentemente a la percepción de los elementos que emergen de la textura que eventualmente crea relaciones rítmicas.

La posibilidad de fragmentar una muestra sonora en pequeños granos nos permite usar esta técnica para transformar una gran cantidad de sonidos del medio ambiente con

⁴⁴ "Mosaic usa algoritmos especiales llamados *conexiones* que le permiten a los objetos simulados interactuar unos con otros de manera no lineal, las conexiones incluyen *adherir, golpear, arco, rasgar*, etc. La excitación y otros datos de control son especificados por medio de *objetos controladores*" (Adrien JM & Morrison Joseph Derek, 1993: p. 45).

⁴⁵ Aunque Xenakis fue el primero en proponer una técnica de síntesis granular a finales de los años cincuenta, esta fue la primera aplicación implementada en una computadora.

buenos resultados. Podemos por ejemplo estirar⁴⁶ un objeto sonoro sin cambiar su frecuencia, y paralelamente enriquecer su timbre con la alternativa de repetir los mismos granos que lo componen, usando distintas dinámicas para cada grano, distintos ataques (envolventes) y distintos retardos entre los granos, e incluso cambiar la frecuencia de cada uno de ellos.

Barry Truax fue el compositor que más desarrolló esta síntesis a mediados de los años ochenta y en los años noventa en la Universidad de Simon Fraser en Canadá, con su sistema PDOX constituido por un procesador de señal DMX-1000 y controlado por un PDP Micro 11. El interés de este compositor por estas técnicas es que vuelven al sonido orgánico sin alejarlo de la complejidad de los sonidos del medio ambiente, incluso si usamos granos creados de manera artificial⁴⁷.

2.3.- Técnicas de análisis-síntesis.

Ya hablé anteriormente de las nuevas posibilidades de transformar un objeto sonoro mediante el análisis y la síntesis⁴⁸ de sus componentes espectrales con la transformada de Fourier rápida. Hay diferentes técnicas que se deducen de este método que han enriquecido la transformación del objeto sonoro, y que nos han permitido explorar la estructura interna del objeto. Enumeraré aquí tan solo las más importantes.

2.3.1.- Phase Vocoder.

⁴⁶ "La síntesis granular, aplicada al procesamiento de sonidos medio ambientales, nos permite un cambio temporal de esos sonidos que les permite ser alentados hasta 1000 veces o más, sin un cambio de tono...hay un incremento de riqueza espectral por la superposición de 12 o más versiones de la fuente...que intensifican bandas de energía espectral ya sean formantes o elementos de ruido...esta independencia temporal de las voces (granos de 50ms o menos) también resulta en un sonido compuesto que parece tener un mayor volumen...Paradójicamente, ligando la frecuencia con el tiempo en el nivel del grano, uno los convierte en variables independientes controladas en el macro nivel" (Truax B, 1992: p. 34).

⁴⁷ "Una de las primeras cualidades de la síntesis granular es su cualidad dinámica. Es prácticamente imposible obtener un sonido estático y sin variación. Es la excepción, no la regla. Esta cualidad es reminiscente del medioambiente natural en donde todo está en un estado de flujo constante" (Truax B, 1992b: p. 379).

⁴⁸ "Podemos fundir la síntesis digital y el procesamiento de señal a través del proceso de análisis-síntesis. Hay muchas maneras de analizar sonidos en los términos de ciertos elementos básicos, de modo que estos elementos puedan ser ensamblados de nuevo y proveer una copia de los sonidos originales. Pero podemos alterar los elementos obtenidos por el análisis antes de resintetizarlos. Esta especie de procesamiento provee entonces un control más flexible, ya que el procesamiento es parecido a la síntesis. De este modo, podemos esperar beneficiarnos de la riqueza de sonidos grabados mientras los controlamos composicionalmente, yendo más allá de las respectivas limitaciones de la música electrónica y la música concreta" (Risset Jean-Claude, 1992: p. 14).

Un Vocoder de Fase nos permite aplicar todo tipo de análisis, filtrajes, cambios de frecuencia, dilataciones y compresiones temporales de un sonido. También podemos hibridizar dos sonidos en un tercer sonido por medio de una Síntesis-Cruzada. Los dos algoritmos mas utilizados nos permiten cambiar la frecuencia de un sonido sin cambiar su duración, y dilatar o comprimir un sonido sin cambiar su frecuencia⁴⁹. El IRCAM desarrolló a mediados de los noventas varios algoritmos que realizan todo este tipo de transformaciones llamado SuperVP (Super Phase Vocoder) que es el motor de un programa (Audiosculpt) que actualmente sigue estando a la venta.

a.- Filtraje.

Podemos tener varios filtros, cada uno con una respuesta de frecuencia diferente que genera una banda de paso o una banda de corte. Las frecuencias de corte o de paso pueden evolucionar en el curso del tiempo, modificando así la posición y el ancho de las bandas. La evolución independiente de cada filtro en el tiempo nos da la posibilidad de transformar la estructura interna de un objeto sonoro tanto dentro de su estructura interna (espectro) así como en su forma externa (morfología), gracias a la posibilidad de la alteración de varias bandas al mismo tiempo⁵⁰. De esta manera desaparecen las limitaciones del campo analógico, en donde no era posible tener una evolución temporal con un alto nivel de control.

Otra manera interesante de utilizar los filtros con un Vocoder de Fase es la posibilidad de tener un control preciso de la amplitud o de la atenuación de cada armónico del sonido grabado⁵¹. De este modo, podemos alterar por ejemplo los armónicos pares o impares de un sonido y cambiar considerablemente el color del timbre.

b.- Síntesis Cruzada.

⁴⁹ Estas posibilidades rompieron con la limitación de la manipulación de la banda magnética o de un disco de vinil, en donde un cambio de velocidad cambia la frecuencia de un sonido pero también su duración. No obstante, cuando por ejemplo cambiamos un sonido de frecuencia por mas de tres semitonos, o cuando estiramos mucho un sonido, la re-síntesis que consiste en volver a juntar las ventanas del análisis produce desfasamientos en la forma de onda que crean artefactos ruidosos. En este sentido, cambiar la frecuencia de algunos sonidos (aunque cambie su duración) sigue funcionando mejor por medio de un cambio de velocidad en la lectura del sonido.

⁵⁰ Avec le programme de phase vocoder développé à l'IRCAM (SVP) on peut avoir jusqu'à 128 bandes. Une fois qu'on définit le nombre de bandes, il reste fixe, et donc, le nombre de fréquences limites reste fixe aussi et ne peut pas varier au cours du temps.

⁵¹ Dans ce cas la réponse de fréquence du filtre est spécifiée par des points régulièrement échantillonnés.

Existen distintos tipos de síntesis cruzada y no todas utilizan los mismos algoritmos de análisis. En Audiosculpt tenemos tres tipos de síntesis cruzada. A continuación describo dos de ellos:

b.1.- Síntesis cruzada de source-filter (fuente-filtro). Se analizan dos sonidos en la entrada (input), en uno su espectro mediante una FFT, y en el otro su envolvente espectral con un algoritmo de predicción lineal (LPC). El cruzamiento consiste en multiplicar un análisis por el otro. El primer sonido es el sonido filtrado y el segundo el sonido que filtra (Mary MM, 2004: p. 328). Anteriormente ya describí cómo con esta técnica filtré varios sonidos percutivos de un güiro con el envolvente espectral de una cigarra cambiando la morfología del güiro y haciéndolo sonar como una cigarra (pero con el espectro del güiro). Las metáforas que se pueden crear con esta técnica son infinitas.

b.2.- Síntesis cruzada de tipo mezcla. Se realizan dos FFT's en los dos sonidos de la entrada (input). Ambos espectros se multiplican por un coeficiente y se suma el espectro de un sonido al del segundo sonido, creándose una combinación lineal entre los dos espectros (Mary MM, 2004: p. 332). Los resultados suelen ser espectros densos y no es fácil conseguir buenos resultados, depende de los espectros de los dos sonidos que crucemos. Existen otros tipos de síntesis cruzada con otros tipos de análisis distintos del Vocoder de Fase muy interesantes que permiten mezclar por ejemplo la excitación de la voz de una persona (sus cuerdas vocales que vibran) con la respuesta de otra persona (su conducto vocal filtrado por las cuerdas de la primera persona, creando una hibridación entre las dos voces)⁵².

2.3.2.- Manipulación espectral y síntesis aditiva.

On appelle manipulation spectrale tout ce qui concerne l'altération de chaque composante du spectre d'un son. Les techniques du "phase vocoder" décrites font partie de la manipulation spectrale. La synthèse additive participe à cette manipulation. Avec elle, on peut copier fidèlement un son naturel (par son analyse) et avoir le contrôle totale

⁵² "Con un análisis Homomorfo, podemos por ejemplo separar en un sonido la excitación (en la voz, la vibración de las cuerdas vocales) y la respuesta (en la voz, la resonancia del conducto vocal que filtra la vibración de las cuerdas vocales). La síntesis se hace recomblando excitación y respuesta: podemos entonces proceder a las síntesis cruzadas combinando la excitación de un sonido y la respuesta de otro, como en la composición Voces de Tracy Patersen en donde podemos escuchar una voz fabricada a partir de la laringe de una persona y el conducto vocal de otra" (Risset JC, 1991: pp. 251-252).

de chaque partiel. On peut aussi ajouter ou extraire d'autres partiels, et ainsi, avoir la possibilité de faire diverses métamorphoses. Voici quelques exemples:

- Convertir un son harmonique en son inharmonique graduellement, ou dans l'autre sens.

- Faire une métamorphose entre deux sons par interpolation des valeurs (aller d'un son de trompette à un son de violon).

- Diviser le spectre d'un son en deux parties, et faire deux resynthèses avec des évolutions légèrement différents. Par exemple, la création d'un objet sonore de la moitié du spectre d'un son d'hautbois, et d'un autre objet sonore de la moitié restante. Après on peut essayer de revenir à nouveau sur le spectre total avec la fusion des deux spectres séparés⁵³.

2.3.3.- Convolución.

Existen muchas otras maneras de alterar la estructura espectro morfológica de un sonido pero no existe aquí el espacio para describirlas. Mi propósito en esta sección ha sido la de dar una idea de la potencia de la computadora como herramienta de transformación del objeto sonoro, así como la capacidad de varias de estas técnicas de crear resultados meta musicales añadiendo nuevas simbologías semióticas a los sonitos transformados.

3.- La composición electroacústica a partir del análisis, la manipulación y el desdoblamiento del objeto sonoro.

L'intention de cette section est de comprendre comment on peut structurer l'œuvre électroacoustique à partir de l'analyse et de la transformation des objets sonores. La façon de structurer l'œuvre électroacoustique va être complètement différent de celle des méthodes utilisées avec la musique instrumentale, à cause de la complexité, et de la nature différente de la matière sonore utilisée. On a vu comment il était impossible de classifier l'objet sonore avec un système de hiérarchies appartenant à la musique

⁵³Cet effet à été utilisé par Roger Reynolds dans la pièce "Archipelago". Voir référence dans RISSET Jean-Claude, 1991. "Timbre et synthèse des sons", dans "Le Timbre, métaphore pour la composition". Présenté par Jean Baptiste Barrière. Christian Bourgeois Editeur. I.R.C.A.M. Paris.

traditionnelle (note, motif, phrase, etc). De ce fait, plusieurs chercheurs s'efforcent de trouver de nouveaux systèmes pour regrouper et organiser différents objets sonores, en prenant compte de leur caractéristique la plus importante, c'est-à-dire, le timbre. Cette recherche ne s'est pas limitée à l'étude des caractéristiques du timbre, mais aussi à l'étude de la perception du son (psycho acoustique), qui est fondamentale pour pouvoir créer un discours musical dans le domaine de l'électroacoustique. Malgré l'impossibilité de créer un système de structuration de base universelle pour pouvoir relier différents objets sonores de l'œuvre électroacoustique, il y a eu dans les différentes approches de recherche quelques points en commun. Je vais développer l'un d'eux. Il s'agit de la possibilité de structurer l'œuvre (macrostructure) en partant de l'analyse des caractéristiques de l'objet sonore (micro structure). Je vais me concentrer donc sur l'analyse d'œuvres électroacoustiques qui ont été faites à partir de la transformation d'un objet sonore, ou de la même matière sonore, car je pense que cette méthode de travail peut nous aider à trouver une cohérence structurale, au moins en ce qui concerne l'aspect du timbre. Cette démarche est aussi très fonctionnelle pour les œuvres mixtes, en raison de la difficulté d'intégrer des instruments acoustiques à des sons artificiels. D'autre part, je vais envisager l'importance de l'ordinateur comme un outil flexible qui en plus de servir à transformer le son est devenu un partenaire du compositeur dans les processus de structuration. Cette collaboration a ouvert de nouvelles possibilités esthétiques autant dans la macrostructure de l'œuvre que dans la microstructure du son. Le développement de l'informatique a ouvert aussi un nouveau domaine, celui de l'interaction en temps réel entre l'instrumentiste et l'ordinateur. Cette possibilité nous donne un champ plus organique où la transformation des objets sonores n'est pas plus séparée de l'exécution de l'œuvre. Ici on peut avoir le même espace de timbre entre l'instrument qui joue et les transformations faites par l'ordinateur des sons de l'instrument. Ce un espace où l'on a en même temps la source sonore et les objets transformés. Néanmoins, on verra aussi les limites de ce moyen.

3.1.- El proceso de estructuración en la música electroacústica.

"La structuration des sons électroacoustiques est plus difficile que celle des sons

instrumentaux, car leur timbre est plus divers, et très souvent ils n'ont pas de fréquences définies. Les modèles d'organisation de l'harmonie traditionnelle ne sont pas appropriés, et donc, le problème de la composition se pose de comment faire pour les organiser par leur qualité de timbre, avec un modèle structurel aussi fort que celui de l'harmonie tonale⁵⁴.

Il y a eu différents essais pour structurer l'œuvre électroacoustique à travers les différentes caractéristiques du timbre dont on a déjà parlé dans le deuxième chapitre. Les techniques digitales d'analyse et de resynthèse nous ont permis de travailler le timbre avec soin et détail, et d'intégrer différents objets sonores en créant un espace du timbre -un continuum du timbre⁵⁵- où l'on peut faire des modulations d'un objet à l'autre grâce à la possibilité de contrôler les composantes des différents spectres⁵⁶. Mais, peut-on trouver une structure dans cet espace du timbre?. Les travaux de David Wessel à l'IRCAM ont démontré l'existence d'un continuum des valeurs dans les deux dimensions du timbre, la qualité de l'attaque et le placement de l'énergie dans le spectre du son. Il a aussi travaillé avec Bennett Smith sur un programme (Esquisses) qui permet à un compositeur de tracer son propre espace de timbres avec les matériaux sonores de son choix, grâce à la création des cartes de timbres qui permettent de déterminer des analogies et des différences entre les sons⁵⁷. Néanmoins, selon Trevor Wishart, le continuum de valeurs de Wessel est incomplet car "ses deux dimensions du timbre doivent s'étendre et inclure autres éléments comme le grain, caractéristiques de bruit, inharmonicité, et d'autres caractéristiques morphologiques du son"⁵⁸. Ya mentionné antes que el le timbre n'est pas limité à ses caractéristiques spectrales verticales ("harmonie

⁵⁴ Barry Truax dans "Acoustic communication". Publishing Co Norwood New Jersey. 1984.

⁵⁵"La synthèse nous fait ainsi accéder au continuum des timbres, toute comme au continuum des fréquences". "Timbre et synthèse des sons". Jean-Claude Risset dans "Le timbre, métaphore pour la composition". Christian Bourgois Éditeur. I.R.C.A.M. 1991.

⁵⁶ "La Modulation, c'est-à-dire, la progression d'un champ d'objets sonores à un autre champ, peut être clairement démontré et utilisé dans l'espace du timbre. La modulation entre différents groupes de timbres peut être utilisée comme base de la structure d'une œuvre".

⁵⁷ Denis Smalley nous parle aussi de la possibilité de structurer le timbre à partir des spectres, mais non d'une façon hiérarchique:

"Le potentiel structurel des caractéristiques spectrales qui vont plus loin que la note est exploité par la comparaison, le rapport et la transformation de différents types de spectres et leur combinaisons. S'il y a la possibilité de créer un système spectral hors du domaine de la note, c'est un de caractère ordinal, basé seulement sur un rapport de degrés, et non sur l'absolu"

"Spectro-morphology". Denis Smalley dans "Language of electroacoustic music". Edité par Simon Emmerson.

⁵⁸ Trevor Wishart dans "On sonic Art".

du timbre"), et que son existence dans la temporalité le rende un élément formel. "Le timbre est matière, sonorité, mais aussi processus, forme: la forme découle de son destin, de ses aventures, de son inscription dans le temps"⁵⁹. Donc, on doit envisager le timbre comme un élément multidimensionnel.

Beaucoup de recherches sur le timbre ont été consacrées à l'organisation du son selon ses caractéristiques spectrales, et au domaine des sons instrumentaux où la diversité des timbres est limitée. Or, le timbre reste un élément très divers et difficile à organiser, particulièrement quand on se rend compte de la complexité des sons de l'environnement qui n'a pas vraiment été envisagée par ces recherches⁶⁰. Donc, on doit encore faire face à la diversité morphologique du timbre, et considérer la relation entre plusieurs objets sonores non seulement du point de vue spectral, mais aussi de leur rattachement spatial et textural.

Le compositeur Denis Smalley a essayé de concevoir différentes notions de structuration qui englobent tous les aspects du timbre. Dans un système de structuration qui pourrait englober tous les sons possibles du domaine de l'électroacoustique, on ne peut pas concevoir l'existence d'une unité minimale significative, car il serait difficile de la percevoir, particulièrement dans un contexte musical continu qui est construit par morphologies enchaînées. On ne peut pas non plus envisager l'existence d'une densité référente, ou d'une manière de mesurer et de diviser le tempo, car on se trouve dans un domaine où le mouvement et le temps ont un caractère élastique. Nonobstant, dans une structure de ce type il existe des niveaux multiples, c'est-à-dire, la possibilité de pouvoir varier notre concentration perceptive, à travers différents niveaux pendant notre processus d'audition. Ces niveaux multiples proportionnent la richesse d'une œuvre, mais d'un autre côté, la seule façon de pouvoir les évaluer est de développer notre expérience auditive. On comprend ici la difficulté de créer des modèles structurels, mais aussi la richesse et la diversité de ce domaine.

⁵⁹ "Timbre et synthèse des sons". Jean-Claude Risset dans "Le Timbre, métaphore pour la composition". Présenté par Jean Baptiste Barrière. Christian Bourgeois Editeur I.R.C.A.M.

⁶⁰ "La théorie acoustique ne s'est pas préoccupée de l'analyse et de la resynthèse des sons d'une telle complexité. Beaucoup d'exemples d'instruments musicaux et de sons de la voix ont été analysés de cette manière, mais peut d'exemples convaincantes de sons de l'environnement complexes ont été resynthétisés d'une manière similaire.....on a besoin d'une nouvelle acoustique de la complexité".

"Musical creativity and complexity", Barry Truax dans "Interface", Vol.21, 1992.

Como ya mencionado antes, Denis Smalley croit à l'existence de deux stratégies de structuration fondamentales qui peuvent nous orienter vers l'écoute des niveaux multiples, le geste musical, et la texture.

"Là où le geste intervient, la texture est laissée faire; là où le geste s'occupe de croissance et de progrès, la texture est reliée à la contemplation; là où le geste pousse en avant, la texture marque le temps; là où le geste est amené par la forme extérieure, la texture détourne vers l'activité interne; là où le geste encourage un haut niveau de concentration, la texture encourage un plus bas niveau de concentration"⁶¹.

Cette comparaison intéressante, où le geste est actif et la texture plutôt passive, ne veut pas dire qu'il n'y ait pas d'évolution dans le domaine de la texture. Les deux éléments ont leur complexité propre et ils collaborent ensemble de différentes façons dans la structure. Or, il y a des structures qui seront emportées plutôt par le geste, et d'autres par la texture. Par ailleurs, la ligne qui divise un domaine de l'autre est subtile et va dépendre des caractéristiques de l'objet sonore. Par exemple, plus le geste va être dilaté dans le temps, plus on va changer notre concentration auditive vers la texture. Plus on va s'éloigner d'une mémoire causale (de ce qui a causé le phénomène sonore) le plus on envisagera un critère textural. Pour finir, il faut souligner que l'activité du geste est plus facile à mémoriser en raison de la taille des événements et de leur cohérence, tandis que l'appréciation de l'aspect textural nous demande un effort auditif plus actif pour percevoir les différents détails.

Ces deux stratégies structurales nous ramènent inévitablement à l'objet sonore⁶². On a parlé des trois phases temporelles de l'objet, début - corps ou état stable - et chute. Ces trois phases peuvent bien servir comme modèles de fonctions structurales, et ainsi on peut projeter le plan morphologique d'un objet vers un plan structural. Ce processus va de la microstructure de l'objet à la macrostructure de l'œuvre⁶³. On peut trouver

⁶¹ "Spectro-morphology". Denis Smalley dans "[Language of electroacoustic music](#)". Edité par Simon Emmerson.

⁶² Ou tout au contraire, l'analyse de l'objet sonore nous ramène vers ces stratégies.

⁶³ Ce processus a été utilisé par les compositeurs spectrales, car ils ont instrumenté l'évolution du spectre d'un son déterminé, et cette instrumentation est devenue la structure de la pièce.

l'origine du geste musical dans la première et dans la dernière phase de l'objet sonore, car elles consistent en un changement drastique d'une courte période de temps ("transitoires")⁶⁴, et sont perçues comme causales (surtout le début, la chute est plus ambigu). D'autre part, le début et la chute sont liés à la perception d'une forme externe (morphologie du son). Le corps par contre, s'il est stable, peut être rattaché aux caractéristiques de la texture, car l'évolution de son spectre peut rassembler une espèce de micro texture. Alors, on a un continuum qui va du micro (la perception du spectre de l'état stable d'un objet sonore) au macro (la perception de la texture d'une oeuvre).

De tout ce qu'on a dit on peut déduire deux différents niveaux de structuration reliés l'un à l'autre; un niveau bas - structuration de l'objet sonore -, et un niveau haut - structuration de l'oeuvre -. Aux objets sonores organisés dans l'oeuvre, on va attribuer différentes fonctions structurelles déduites des trois phases de l'objet, mais pour cette tâche, une prise de conscience du contexte va être fondamental car là où un objet peut être envisagé d'une certaine façon - dans un instant précis de l'oeuvre par exemple - sa signification va changer complètement quand on le considère relié à la globalité d'une section ou de l'oeuvre entière. D'un autre côté, l'interprétation d'une fonction ne sera pas nécessairement décisive. "Auditeurs et structures tombent dans l'ambiguïté. À travers l'acte de l'audition, plus d'une fonction peut être simultanément attribuée au même niveau d'activité musicale"⁶⁵. Cette ambiguïté nous donne la possibilité d'écouter les différents niveaux, et elle doit être fortement considéré par le compositeur.

Smalley va développer aussi l'articulation spatiale dans l'oeuvre électroacoustique, un élément fondamental pour la structuration. La perception des fonctions structurales va dépendre de la trajectoire des objets et de la spatialisation de la texture (deux éléments de l'articulation spatiale), car elles peuvent être clarifiés, soulignés ou obscurcis, selon le cas. Les caractéristiques de l'espace acoustique où l'on va exécuter l'oeuvre vont influencer aussi la clarté de la structure⁶⁶.

3.2.- Creación de la obra electroacústica a partir de de un mismo objeto

⁶⁴Dans le chapitre no.2 je parle de la complexité des ces "transitoires".

⁶⁵"Spectro-morphology". Denis Smalley dans "Language of electroacoustic music". Edité par Simon Emmerson.

⁶⁶Jean-Claude Risset a parfois travaillé ses sons sans utiliser aucun effet de réverbération, prenant en compte le fait que cette réverbération va être donné par la salle acoustique où l'oeuvre sera jouée..

sonoro o de la misma materia sónica.

Depuis les débuts de la musique électroacoustique il y a eu un intérêt généralisé pour créer des œuvres en partant du travail de la même matière sonore. L'inclusion de tous les sons existants dans la musique électroacoustique nous a donné une incroyable variété de matière sonore qui est à notre disposition pour le façonner et le structurer. La diversité rend difficile le travail du compositeur, car il n'est pas facile de rattacher des sons qui ont des caractéristiques de timbre complètement différentes, alors, une façon de résoudre ce problème c'est de partir de la même matière sonore, pour pouvoir créer ainsi une gamme continue de sons et pouvoir aller de l'un à l'autre graduellement. On revient ici au concept de "modulation de timbre" dont on a déjà parlé. D'autre part, la manipulation nous donne la possibilité de varier la même matière sonore de très diverses façons, en nous éloignant complètement de notre source originale. Alors, on ne peut se plaindre d'un manque de diversité sonore, car travailler avec la même matière peut nous rendre plus créatifs. D'ailleurs, les compositeurs de musique instrumentale ont toujours aimé le défi de composer avec un seul instrument ou famille d'instruments, pour arriver à mieux exploiter toutes les possibilités du timbre. L'avantage du domaine électroacoustique c'est qu'avec les moyens technologiques dont on dispose on va pouvoir créer des sons complètement différents de ceux avec lesquels on avait commencé à travailler, et donc, notre continuum entre le son du départ et sa transformation totaux va être plus riche. Cependant, on doit faire attention au moment où l'objet sonore transformé perd complètement son rapport avec l'objet original, car à ce moment-là il perd aussi son identité et devient "artificiel" (par rapport au son de départ)⁶⁷. On peut profiter du continuum entre ces deux mondes (le réel et l'artificiel) et aller de l'un à l'autre, mais on doit être conscients de l'importance de la causalité de l'objet sonore qui lui donne une raison d'être⁶⁸.

Ejemplos de mis obras y mención del ensayo escrito en 1994.

⁶⁷J'utilise le mot "artificiel" dans un sens non péjoratif

⁶⁸Particulièrement dans la musique électroacoustique où la cause d'un geste musical se perd facilement. Pour plus d'information voir le quatrième chapitre où je parle de l'importance de la causalité.

4. Conclusiones.

Mas allá de los avances tecnológicos importancia de la escucha.

Bibliografía

Adrien Jean-Marie & Morrison Joseph Derek (1993), "MOSAIC: A framwork for modal synthesis". En *Computer Music Journal* Vol. 17, No. 1 (Spring 1993), pp. 45-56. Boston:The MIT Press.

Beauchamp, JW (1971). "An Introductory Catalogue of Computer Synthesized Sounds by Jean Claude Risset". En *Perspectives of New Music*. Vol. 9/10. Seattle:. Perspectives of New Music. pp. 348-350.

Bilbao, S (2001). *Wave and Scattering Methods for the Numerical Integration of Partial Differential Equations*. Tesis de Doctorado, Department of Electrical Engineering, Stanford University.

Castanet, Pierre Albert (1987). "Musiques spectrales: nature organique et matériaux sonores au 20ème siècle". En la revista "*Dissonanz-Dissonance*".No 13. Zurich: Schweizerischer Tonkünstlerverein. p. 7.

Chowning, J. (1977). The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation. *Computer Music Journal*, 1(2), 46-54.

Couprie, P (2001). Le vocabulaire de l'objet sonore. Du sonore au musical, L'Hartmann, pp. 24. hal-00807080.

- Dodge, C & Jerse, T.A (1985). *Computer music; synthesis, composition and performance*, New York: Schirmer books. p. 48, pp. 56-57.
- Eckel Gerhard & Rocha Iturbide M (1995). "The development of GiST, a Granular Synthesis Toolkit based on an Extension of the FOF Generator". En *International Computer Music Conference proceedings Banff: ICMA*. Páginas 296 a 302.
- Mary, Mario Marcelo (2004). *Techniques de controle de logiciels en informatique musicale*. Lille: Diffusion ANRT.
- Murail, Tristan (1984). "Spectres et lutins". En *IRCAM, une pensée musicale*. Paris-Montreux: Interéditions. pp. 172-173.
- Risset, Jean-Claude (1991). "Timbre et synthèse des sons". En *Le Timbre, métaphore pour la composition*. Editado por Jean Baptiste Barrière. Paris: Christian Bourgeois Editeur. I.R.C.A.M.
- Risset, Jean-Claude (1992). "The computer as an interface". En *Interface, Vol.21* (1992), pp. 9-20. Amsterdam:Sweets & Zellinger.
- Rocha Iturbide, Manuel (1999), *Les techniques granulaires dans la synthèse sonore*. Tesis doctoral. Universidad de Paris VIII. Saint Dennis Francia.
- Schaeffer, Pierre (1952), *À la recherche d'une musique concrète*. Paris: Éditions du Seuil.
- Smalley, Denis (1985), "Spectromorphology and Structuring Processes", en *The Language of Electroacoustic Music*, editado por Simon Emmerson. London: Macmillan. pp. 61–93.
- Solomos, Makis (1999), "Schaeffer Phénoménologue". En *Ouïr, entendre, écouter, comprendre après Schaeffer*, pp. 53-67. Paris: Buchet/Chastel-INA/GRM.
- Teruggi, Daniel (2007), "Technology amd musique concrete: The technical developments of the Groupe de Recherches Musicales and their implication in musical composition". En *Organised Sound* 12 (03):213 - 231. Londres: Cambridge University Press.
- Truax, Barry (1992a), "Musical Creativity and Complexity at the Threshold of the 21st Century". En *Interface, Vol.21*. pp. 29-42. Holanda: Swets & Zellinger.
- Truax, Barry (1992b), "Electroacoustic music and the soundscape: The Inner And outer World". En *A companion to contemporary musical thought*, J.Paynter, R.Orton, P.Seymour, y T.Howell, Eds. London: Routledge.
- Wishart, Trevor (1985), *On sonic art*, York: Imagineering press.