

Hacia una técnica de síntesis global a través de una concepción del cuanto sonoro

Manuel Rocha Iturbide
Composición electroacústica
México

Las técnicas de síntesis basadas en una concepción discreta del sonido son capaces de crear sonidos adecuadamente dispuestos en el tiempo y la frecuencia. Sin embargo, existen dos grupos principales de técnicas granulares que parecen ser antagonistas. Las técnicas de *análisis re-síntesis*, que favorecen la creación de sonidos en donde tenemos un control preciso sobre su estructura micro espectral, y las técnicas granulares tradicionales que favorecen la creación de sonidos que tienen como base una escala macro estructural. Este artículo desarrolla diferentes ideas para realizar posibles conexiones entre estos dos campos aparentemente opuestos, que luego permitirían la creación de una técnica de síntesis global, capaz de producir sonidos tanto a nivel *micro-temporal* como a nivel *macro-temporal*, favoreciendo al mismo tiempo sus cualidades espectrales y morfológicas.

Las técnicas granulares de *análisis re-síntesis* y las técnicas tradicionales de síntesis granular¹ (QSGS, AGS y Granulación a partir de muestras sonoras)² se basan en la misma concepción discreta del sonido: ambas utilizan partículas elementales (o “granos”)³ para la generación de señales sonoras.

Sin embargo, estos dos amplios grupos de técnicas tienen distintas maneras de construir o reconstruir la señal sonora, y cada uno de ellos contempla un método diferente de síntesis sonora. La granulación de *análisis re-síntesis* está basada en un control preciso de los parciales del análisis espectral de un sonido (dominio de la frecuencia), mientras que las técnicas granulares

tradicionales están centradas en un control libre de las partículas elementales en el tiempo (dominio temporal), y no contemplan el control preciso del espectro sonoro. La limitación del primer grupo de técnicas es que no considera o tiene la facultad de controlar partículas sonoras con una gran flexibilidad sobre el dominio temporal, mientras que la limitación del segundo grupo es su incapacidad de tener un control preciso sobre el dominio sonoro espectral.

Uno de los principales objetivos de este artículo es establecer conexiones entre los campos del tiempo y de la frecuencia en la síntesis sonora a través de las técnicas granulares, ya que estas tienen un carácter esencialmente discreto y nos permiten considerar la creación de sonidos bien dispuestos en ambos terrenos. Sin embargo, a veces es necesario usar algunas técnicas granulares cuando queremos trabajar de manera precisa en el dominio de la frecuencia y otras técnicas granulares cuando queremos trabajar en los ámbitos de la textura, la masa y el ritmo. Pero, ¿acaso existen posibles conexiones entre las distintas técnicas granulares, o, más aún, podríamos escoger una misma técnica y utilizarla para la generación de sonidos, tanto en el nivel micro como en el nivel macro-temporal, ya fuera para crear sonidos de carácter espectral, como para obtener sonidos cuyos parciales estuvieran libremente dispuestos en el espacio tiempo-frecuencia? Las técnicas granulares tradicionales no serían

¹ Le llamaremos “técnicas de síntesis granular tradicionales” a las técnicas granulares con una orientación no analítica, a excepción de las técnicas granulares formánticas (*CHANT*, *VOSIM*), y a las técnicas granulares sincrónicas.

² Los términos *Quasi-Synchronous Granular Synthesis* (Síntesis granular casi sincrónica *QSGS*) y *Asynchronous Granular Synthesis* (Síntesis granular asincrónica *AGS*) fueron creados por el investigador Curtis Roads (Roads, 1991). El término *Granular Sampling* (Granulación a partir de muestras sonoras) fue propuesto por Cort Lippe (Lippe, 1993).

³ También conocidos como *cuantos sonoros* (Gabor, 1946). El término de *cuanto sonoro* surge en la primera mitad del siglo XX de las investigaciones de los físicos Gabor, Wiener y Moles acerca de una percepción cuántica del sonido. Esta percepción se caracteriza por la posibilidad de medir de manera discreta las distintas sensaciones sónicas que podemos tener, lo que implica que ellas no son infinitas. Estos estudios se dedujeron de distintas leyes de la física cuántica atómica (como el indeterminismo de Heisenberg), que sin embargo, pueden ser aplicadas en el dominio de la audición.

capaces de realizar esta tarea porque no tienen una orientación analítica.⁴ Entonces, ¿podrían las técnicas de análisis re-síntesis ser capaces de realizar este trabajo?

La investigación en las distintas ramas de granulación por *análisis re-síntesis* ha estado basada en los aspectos tímbricos del sonido en el dominio *micro-temporal*, y los algoritmos creados para la transformación del sonido a partir de la modificación del análisis previo siempre han estado limitados por las complicaciones que surgen a la hora de reconstruir la señal sonora. Estos dos aspectos, creo, representan las principales limitaciones de este grupo de técnicas, y el trabajo con ellas en la escala *macro-temporal* ha estado restringido a estiramientos de sonidos o a la manipulación de sonidos largos (en donde la cantidad necesaria de memoria RAM de la computadora se vuelve muy costosa). Además, en el caso de la dilatación de sonidos, la transformación temporal de estos no produce variaciones de timbre que tengan un rango amplio de posibilidades tímbricas.⁵

Las técnicas de síntesis más efectivas relacionadas con el campo espectral que se desdoblán en el dominio *macro-temporal* (como la *síntesis aditiva* y *subtractiva*) no tienen una orientación forzosamente analítica, y la variación de los componentes espectrales en este tipo de métodos es muy flexible gracias a los programas desarrollados para el control preciso de la evolución de cada frecuencia. Hay que aclarar que estamos hablando aquí de técnicas no analíticas y que en este caso las técnicas de *análisis re-síntesis* suelen ser un complemento esencial para ellas. No obstante, ¿qué podemos hacer en este caso si queremos obtener efectos sonoros de tipo morfológico, o que deben ser dispuestos entre la continuidad espectral de las ondas y el dominio discontinuo de las partículas sonoras? Desgraciadamente, ni la *síntesis aditiva* y *subtractiva*, ni las técnicas de *análisis re-síntesis* nos han permitido hasta hoy obtener buenos resultados en estos dos territorios.

En la investigación que este autor realizó acerca de las técnicas granulares en la síntesis sonora,⁶ una de sus propuestas fue la de utilizar las técnicas granulares tradicionales de una manera similar a la *síntesis aditiva* (Figura 1). Esto nos permitiría obtener sonidos espectrales que pudieran evolucionar hacia texturas sonoras (Figura 2), e incluso hacia una discontinuidad total que luego se convertiría en ritmo. Sin embargo, en el dominio espectral siempre tendremos efectos de modulación que no podremos controlar. Con las técnicas de *análisis*

síntesis, en cambio, evitaríamos este tipo de efectos, aunque no podríamos tratar las ventanas de análisis como si fueran granos moviéndose libremente pues perderíamos control sobre las fases, dando como resultado efectos sonoros indeseables. Sin embargo, la idea de tener un control aleatorio sobre las ventanas de análisis ha sido aplicada bajo condiciones en las que se ha deseado un efecto de ruido.

Xavier Serra y Julius Smith (1990) propusieron una técnica de *análisis síntesis* por modelación espectral que utiliza una combinación de descomposición determinista y estocástica. Ellos usaron la parte determinista para los parciales de tipo Fourier que evolucionan en el tiempo, y la descomposición estocástica para la recreación del ruido que está presente en la parte del ataque o durante la producción de un sonido (como por ejemplo el ruido de un arco sobre la cuerda, o el aliento de un flautista) y que no puede ser analizado de una manera determinista con la transformada de Fourier.⁷ Con este procedimiento, Serra y Smith han confrontado el dualismo acústico (en el nivel *micro-temporal*) entre el control continuo del análisis de granos y el control discontinuo de los granos, habiendo obtenido buenos resultados. Entonces, ¿por qué no desarrollar esta idea y aplicarla en el dominio *macro-temporal*?

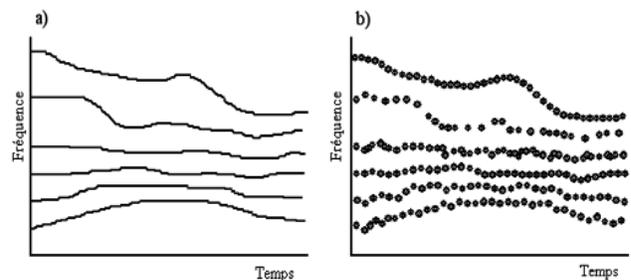


FIGURA 1.- A) TÉCNICA TRADICIONAL DE SÍNTESIS ADITIVA B) SÍNTESIS GRANULAR ADITIVA. LAS DISCONTINUIDADES, EL SOBRE ENSIMISMAMIENTO DE LOS GRANOS Y UNA POSIBLE UTILIZACIÓN DE UNA ANCHURA DE BANDA (BW) DE 10HZ PARA CADA BANDA ESPECTRAL HACEN AL ESPECTRO DE B) DIFERENTE DE A).⁸

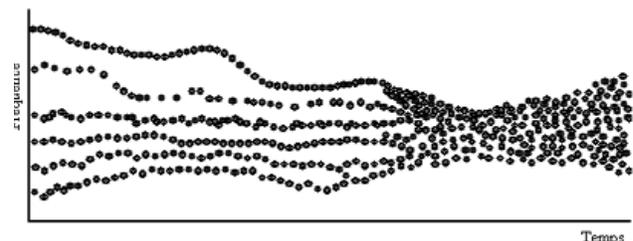


FIGURA 2.- EVOLUCIÓN ENTRE UNA NUBE GRANULAR DE TIPO ADITIVO Y UNA NUBE GRANULAR DE TIPO TEXTURAL.⁹

⁴ Vaggione, 1993.

⁵ En cambio, con la *granulación por muestreo* podemos obtener transformaciones de timbre muy interesantes.

⁶ Rocha Iturbide, 1999.

⁷ Vaggione, *Op. cit.*

⁸ Rocha Iturbide, *Op. cit.*

⁹ *Idem.*

La transición entre sonidos espectrales y disturbios sonoros¹⁰ sería posible utilizando técnicas de *análisis re-síntesis*. Sólo necesitaríamos tener diferentes tipos de controles sobre las ventanas de análisis o “granos elementales”: uno correspondiente a los algoritmos típicos con los que dominamos las variaciones de la frecuencia en el tiempo (sin disturbios de fase) y el otro completamente libre, con el que pudiéramos hacer evolucionar cada grano de una manera completamente independiente a partir de otro tipo de algoritmos (estocásticos, caóticos y otros).

Podemos imaginar un análisis de Fourier temporal corto con una ventana de 1024 puntos. Si tenemos una tasa de muestreo de 44.1 KHZ, nuestro tamaño de ventana será equivalente a un “grano” de 23.2 milisegundos. Si producimos un estiramiento no lineal, los valores de la dilatación temporal comenzarán a cambiar en el tiempo, y las ventanas comenzarán a separarse teniendo siempre un radio de variación constante; si de pronto aplicamos un algoritmo que separe a las ventanas de una manera discontinua, y comenzamos a cambiar también la frecuencia de cada ventana, tendremos artefactos sonoros, pero entonces, las ventanas se convertirán en granos autónomos y tendremos una *síntesis granular asincrónica* de sonido. En cuanto a las regiones en las que aparecen desórdenes de fase, creemos que podemos prever de una manera estadística qué tipos de ruido obtendremos en relación con el algoritmo que queramos usar.

Serra y Smith (1990) han usado un control estadístico sobre las ventanas de análisis usando siempre el mismo tamaño de ventana. Sin embargo, podríamos también variar su tamaño en el momento en que comenzamos a separarlas de una manera discontinua, alargándolas y obteniendo “granos” que se vuelven cada vez más grandes, que podrían convertirse en texturas sonoras y motivos rítmicos. Las *ondeletas de Malvar*,¹¹ por ejemplo, serían ideales para este tipo de procesos, ya que son granos con características musicales (su ataque, cuerpo y decaimiento son similares a los sonidos instrumentales cortos) y por otro lado, su tamaño así como su envolvente cambian en el tiempo.¹²

El proceso que acabamos de describir no es el único posible. La idea de aplicar algoritmos estocásticos al análisis de “granos elementales” podría realizarse de maneras distintas. Por ejemplo, con las *ondeletas*, tenemos escalas de “grano” de

diferente tamaño (es decir, diferentes capas de granos cada una con *cuantos* de distinta duración). Podríamos de-construir una señal sonora de una manera granular generando la re-síntesis mediante la eliminación estadística de granos en las distintas escalas. Esta des-granulación podría ser producida de manera progresiva entre las diferentes escalas, logrando efectos de filtraje por medio de zonas espectrales; sólo que, aquí el filtraje sería discreto y discontinuo, porque siempre dejaremos algunos granos en las diferentes regiones que hemos filtrado.¹³

El proceso que acabamos de describir tiene que ver con transformaciones sonoras en el dominio *micro-temporal*, pero también podríamos crear diferentes expansiones temporales y contracciones para cada capa granular, y crear al mismo tiempo una de-construcción granular, o de manera inversa, podríamos combinar el efecto de cambio “acuoso” (descubierto por Kronland Martinet, 1991) con una súper producción de *ondeletas* controladas de manera estocástica al utilizar diferentes algoritmos y densidades en cada capa granular.

Podemos imaginar también otras maneras de controlar “granos” de análisis elementales. Por ejemplo, la idea de tener distintas técnicas de análisis combinadas con el mismo algoritmo (*Best Basis*) propuesto por Coifman (1992), podría utilizarse en la música para el análisis, la transformación y la re-síntesis del sonido. De este modo, podríamos obtener una paleta con diferentes granos en el momento de la reconstrucción de la señal. Entonces, tendríamos una enorme variedad de posibilidades para la mezcla de transformaciones de *análisis-síntesis* y transformaciones de síntesis granular tradicional. No obstante, ¿puede esta mezcla realmente llevarnos a la creación de una síntesis de carácter global, con la cual pudiéramos trabajar de manera simultánea en diferentes escalas temporales?¹⁴

Conocemos bien los problemas que podríamos encontrar con el análisis de una señal sonora, particularmente aquellas que conciernen al principio de incertidumbre de Heisenberg.¹⁵ Por otro lado, sabemos que el análisis global

¹⁰ Xenakis, 1971.

¹¹ Meyer, 1992.

¹² Las *ondeletas de Malvar* serían adecuadas para el análisis de señales sonoras. Meyer, uno de los inventores de estos granos ha sugerido: “La posibilidad de cortar una señal de manera uniforme ayudará particularmente a los investigadores que analizan la música y el lenguaje” (Meyer, 1992).

¹³ La esencia de esta idea fue tomada del algoritmo *degranular synthesis* perteneciente al programa *QuickMQ* (Steve Berkley, 1995). La principal diferencia es que la des-granulación con este algoritmo siempre da resultados similares, mientras que lo que propongo es un filtraje más exacto y sutil que el que las *ondeletas* nos permiten debido a sus características escalares temporales.

¹⁴ Esta idea en sí misma constituye un paradigma cuántico. Las técnicas de *análisis síntesis* aprovechan la característica de onda de un “grano elemental” mientras que las técnicas granulares tradicionales aprovechan la característica de partícula. No obstante, en realidad el “grano elemental” tiene un comportamiento dual constante, de manera que tiene que existir una técnica de síntesis que tome ventaja de estos dos aspectos en el mismo nivel.

¹⁵ Gabor, 1946; Wiener, 1964.

de una señal desplegada tanto en el *micro* como en el *macro tiempo* siempre será dificultoso, ya que la interacción entre las diferentes escalas temporales tiene un carácter no lineal,¹⁶ y además, necesitamos considerar también la significación del contexto musical.¹⁷ Sin embargo, una serie de nuevas técnicas (*ondeletas*) y su hibridación podrían ayudar a mejorar la situación. El principio de incertidumbre siempre estará presente, pero granos elementales como las *ondeletas* que funcionan en diferentes escalas temporales (y que son precisas en el nivel temporal), en combinación con granos más precisos en el dominio de la frecuencia, podrían combinarse efectivamente para obtener un análisis global más adecuado.¹⁸

En lo que concierne a la transformación de la re-síntesis de una señal sonora, tenemos los mismos problemas que afrontamos con el análisis, pero aquí nuestra actitud es mucho más relajada y flexible, ya que estamos interesados en la creación de sonidos nuevos manteniendo un control total en el momento de producirlos, pero teniendo un cierto margen de error que podría ser más o menos predecible con un poco de experiencia.

La interacción no lineal entre las distintas escalas temporales complica el reto de producir una síntesis global que se pueda desdoblar simultáneamente tanto en el nivel *micro* como en el nivel *macro*. Para Vaggione, no podemos tener una sintaxis común cuando trabajamos en los distintos niveles temporales.¹⁹ Es cierto que si queremos unir las técnicas de *análisis re-síntesis* (que funcionan mejor en el campo *micro-temporal*), con las técnicas de síntesis granular tradicionales (que funcionan mejor en el campo *macro-temporal*), tenemos que acudir a distintos algoritmos de control que tienen concepciones sintácticas divergentes, pero que darían cabida a la posible creación de una técnica de síntesis que combine los dominios del tiempo y de la frecuencia de una manera balanceada.²⁰ Aunque siempre tendremos efectos no controlables, podemos preverlos y usarlos a nuestra conveniencia. Tal vez, estos inevitables instantes indeterminados

¹⁶ Sin embargo, para algunos sonidos musicales podemos realizar un análisis global efectivo que contemple los aspectos típicos del dominio temporal. De acuerdo con Eldénius (1995), podemos encontrar distintas afinidades entre las distintas pequeñas células métricas y las grandes estructuras métricas en casi toda la literatura musical, como por ejemplo, en las *ragas* Indias o con la sección de oro en la música de Bartok.

¹⁷ Vaggione, *Op. cit.*

¹⁸ "Debido a la dualidad onda / partícula, los miembros constituyentes de sistemas de partículas llevan en todo momento las propiedades tanto de ondas como de partículas. Con su aspecto de partícula, tienen la capacidad de ser algo en particular que puede ser aprehendido, aunque sea brevemente. Con su aspecto de onda tienen la capacidad de relacionarse con otros individuos a través de la sobre posición parcial de sus funciones de onda" (Zohar, 1990. pp. 95).

¹⁹ Vaggione, *Op. cit.*

—en donde estamos muy lejos de obtener un control adecuado de las frecuencias del control estocástico de las texturas, masa y ritmo— podrían ser observados, aceptados, y valorados de una manera musical con una filosofía de tipo *cageiana*.²¹

Dos últimas observaciones: no estamos obligados a tener un control sobre los granos mientras trabajamos en el dominio *macro-temporal*; podríamos tener, por ejemplo, prototipos de estructuras granulares preconcebidas lanzadas en el tiempo por algoritmos estandarizados que también podrían transformarse (Figura 3) (Rocha Iturbide, 1999).²²

Finalmente, cabe mencionar que las propuestas en este ensayo quedarán por ahora en un nivel teórico, ya que el autor de ellas no es matemático ni especialista en tratamiento de señal, y consecuentemente, no tiene la posibilidad de aplicarlas. Sin embargo, consideramos que pueden ser útiles a otros investigadores con herramientas y formación especializada para experimentar con ellas. Por otro lado, es necesario destacar que la idea de unir el *micro-tiempo* con el *macro-tiempo* en una técnica de síntesis nueva ya ha sido desarrollada en la teoría y en la práctica²³ por el autor de éste texto con la colaboración del investigador Gerhard Eckel (Eckel, Rocha Iturbide, 1995; Rocha Iturbide, 1999), por medio de una técnica de síntesis granular formántica (GiST) que utiliza FOF's-granos con función de onda formántica - como granos fundamentales.²⁴ Esta técnica, que no pertenece a las técnicas de *análisis síntesis*, funciona bien en los dominios del tiempo y de la frecuencia, y podría ser incorporada a las técnicas de *análisis re-síntesis*²⁵ y servir como un "lapis philosophorum" para la creación de una técnica multi-escalar de síntesis sonora.

²⁰ En los últimos años ha existido un interés muy grande por el control inteligente de la síntesis sonora a través del desarrollo de programas de concatenación aplicados a distintas áreas como el muestreo, síntesis de voz, paisaje sonoro, e inclusive síntesis granular (Schwarz, 2003), pero hasta donde sé, no se han aplicado todavía a los métodos de análisis síntesis en relación con la síntesis granular tradicional. Espero que estos investigadores se interesen en nuestras ideas y en la posible aplicación de la concatenación al método de síntesis cuántica global que aquí proponemos

²¹ El término *caegiano* lo hemos tomado del compositor John Cage, que trabajó toda su vida con la idea del azar y la indeterminación.

²² Esto tiene solamente sentido cuando tenemos varios granos por segundo con una duración suficiente para ser considerados como pequeñas notas. En este momento, los granos crean motivos rítmicos y es entonces lógico estructurarlos de una manera determinista. Este tema ha sido desarrollado en el sexto capítulo de la tesis doctoral de este autor: "Las técnicas granulares en la síntesis sonora" (Rocha Iturbide, 1999).

²³ En 1995 hicimos una serie de ejemplos sonoros con GiST, algunos de ellos incluidos en el CD-ROM de esta revista, en los que exploramos las transiciones entre iteraciones de grano continuas (síntesis granular sincrónica), a iteraciones de grano casi continuas, hasta la discontinuidad total. Es interesante remarcar que las progresivas discontinuidades sonoras nos recuerdan fenómenos caóticos como las *transiciones de fase*.

²⁴ Rodet, 1979.

²⁵ Rodet et d'Alessandro, 1989.

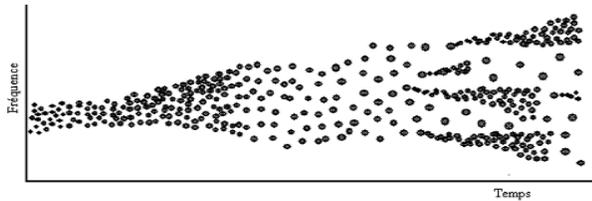


FIGURA 3- INTERACCIÓN ENTRE DIFERENTES MICRO Y MACRO PROCESOS GRANULARES EN EL MISMO NIVEL TEMPORAL. LA GLOBALIZACIÓN DE TODOS ESTOS PROCESOS CONSTITUIRÍA UNA COMPOSICIÓN MUSICAL ²⁶

Aunque este texto trata particularmente de una técnica de síntesis sonora global hipotética así como de sus ejemplos teóricos e imaginarios, es imposible substraernos de los distintos problemas de composición musical surgidos en el marco de esta investigación, que constituyeron en la mayoría de los casos, la fundación de estas ideas. En su tesis doctoral,²⁷ el autor de este texto discute en profundidad acerca de una posible estética cuántica del sonido que está relacionada no con uno, sino con varios lenguajes musicales, cada uno de ellos poseyendo un foco de atención particular. Al considerar estos acercamientos cuánticos, estamos obligados a tener en mente los fenómenos de percepción psicoacústica de procesos complejos que evolucionan en los planos de tiempo y frecuencia. Estos procesos pueden ser logrados por medio de la combinación de diferentes técnicas de síntesis (*síntesis aditiva*, *análisis síntesis*, *síntesis granular* tradicional, mezcla, etc.), y ellas han sido probadas y utilizadas de manera práctica en diferentes composiciones electroacústicas de nuestra autoría.

A través de los años, hemos trabajado con las ideas cuánticas de mezclar lo continuo con lo discontinuo, lo espectral con lo morfológico, y particularmente con las transiciones entre un campo y el otro. Nuestras obras electroacústicas para cinta sola²⁸ han estado basadas principalmente en procesos *macro-temporales*, pero en nuestras obras de música electroacústica con instrumentos, siempre hemos trabajado en el nivel *micro-temporal*, componiendo sonidos para instrumentos musicales que exploran las transiciones entre la frecuencia y los distintos tipos de ruidos, entre la iteración continua de notas y la melodía estocástica de ritmos, etc.

De esta manera, nos parece importante incluir en el CD-ROM, que viene adjunto a la presente publicación,

²⁶ Rocha Iturbide, *Op. cit.*

²⁷ *Idem.*

²⁸ El término composición para cinta sola no ha logrado ser substituido por uno nuevo a pesar de que las composiciones de música electroacústica basadas en la grabación de dos o más pistas en la actualidad están en formato digital. Los franceses utilizan la definición: "composition pour sons fixes" (composición para sonidos fijos).

varios ejemplos sonoros (algunos acompañados por la partitura, otros por una descripción gráfica) de estas obras con una breve explicación de los procedimientos ahí empleados.

Esperamos que con estos ejemplos de composición podamos comunicar nuestro interés, dentro de la investigación y la creación, en proponer métodos de síntesis nuevos que ayuden a otros creadores a lograr sonidos electroacústicos, con una complejidad tímbrica equiparable a la sutilidad de sonidos acústicos reales que evolucionan tanto en los niveles escalares *micro* como *macro-temporales*.

Bibliografía

Berkeley, S.W. "QUICKMQ: A software tool for the modification of time-varying spectrum analysis files", Banff Canada: *ICMC proceedings*, 1995.

Coifman, R.R., Wickerhauser, M.V. "Entropy Based Algorithms for Best Basis Selection", *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 32, mars, 1992.

Eckel, G., Rocha Iturbide, M. "The development of GiST, a Granular Synthesis Toolkit Based on an extension of the FOF Generator", Banff Canada: *ICMA proceedings*, 1995.

Eldenius, M. "Fractal Structures and Formalized Composition", Banff Canada: *ICMA proceedings*, 1995.

Gabor, Dennis. "Theory of communication", en *Journal of the Institute of Electrical Engineer* Part III, 93, 1946.

Kronland-Martinet, R. & Grossman A. "Application of time frequency and time-scale methods (wavelet transforms) to the analysis, synthesis and transformation of natural sounds", en GG. de Poli, A. Piccialli & C. Roads, editores, *The representation of musical signals*. MIT Press. 87-118, 1991.

Lippe, C. "A Musical Application of Real-time Granular Sampling Using the IRCAM Signal Processing Workstation", en: T. Taguiti. ed. *Proceedings of the 1994 International Computer Music Conference: ICMA*, 1994.

Meyer, Y. "Les Ondelettes. Algorithmes et Applications", Paris: Armand Colin, 1992.

Roads Curtis. "Asynchronous granular synthesis", en G.De Poli, A. Piccialli, y C.Roads, eds. *Representations of musical signals*, Cambridge Massachusetts: The MIT Press, 1991.
_____, "Microsound", Cambridge Massachusetts: MIT Press, 2001.

Rocha Iturbide, M. "Les techniques granulaires dans la synthèse sonore", tesis doctoral bajo la dirección de Horacio Vaggione, Universidad de París VIII, 1999.

Rodet, X. "Time-Domain Formant-Wave-Function Synthesis", en *proceedings of the NATO-ASI. Meeting Bonas, reed. Computer Music Journal* 8(3): 9-14, 1979/1984.

Rodet, X. et d'Alessandro C. "Synthèse et analyse-synthèse par fonctions d'ondes formantiques", en *Journal Acoustique* 2 163-169, 1989.

Schwarz, D. "The caterpillar system for data-driven concatenative sound synthesis", en *Proc. Of the 6th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx-03)*, London, UK, 2003.

Serra, X. "A system for Sound Analysis /Transformation/ Synthesis based on a deterministic plus stochastic decomposition", tesis de doctorado, CCRMA, Departamento de Música, Universidad de Standford, 1989.

Serra, X., Smith, J.O. "Spectral Modeling Synthesis: A sound Analysis/Synthesis System based on a Deterministic plus Stochastic Decomposition", EUA: *Computer Music Journal*, Vol 16 (4), 1990.

Vaggione, H. "Timbre as syntax: a spectral modeling approach", en *Science and Music Conference*, City University de Londres, 1993.

Wiener, N. "Spatial-Temporal Continuity, Quantum Theory and Music", en M. Capek (ED.) 1975: *The Concepts of Space and Time*, Boston: Reidel, 1964.

Xenakis I. "Formalized music", Bloomington: Indiana University Press, 1971.

Zohar, Danah. *The Quantum self*, Reindo Unido: Bloomsbury Publishing Ltd, 1990.