

HERRAMIENTAS DIGITALES APLICADAS AL ANÁLISIS DE LA MÚSICA ELECTROACÚSTICA BASADA EN LA SÍNTESIS SONORA: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA

Francisco Javier Trabalón Ruiz
Conservatorio Superior de Música de Málaga
Universidad de Valladolid

Resumen

El repertorio de música electroacústica, en sus distintas variantes, es un catálogo ineludible en el panorama de la creación sonora en la actualidad. Su estudio y análisis ha sido afrontado desde diferentes enfoques desde el siglo XX, aplicando múltiples metodologías y herramientas. En la primera parte de este artículo se enumeran y explican sucintamente diferentes herramientas digitales, además de los más relevantes modelos analíticos implementados en los últimos años en el estudio de este repertorio, estableciendo una serie de ejemplos de autores como François Delalande, Michael Clarke, Laura Zattra, Stephane Roy, Leigh Landy o Simon Emmerson entre otros. A partir de la descripción del estado actual de la situación, se propone un procedimiento analítico dirigido a la música electroacústica basada en la síntesis sonora, utilizando herramientas extraídas de *MIRToolbox* con el objetivo de obtener información cuantitativa, expresada gráfica y numéricamente acerca de la estructura, temporalidad, organización, timbre, intensidad, altura y duración de los eventos sonoros.

Palabras clave: análisis, electroacústica, herramientas digitales, metodología, software musical

Abstract

The repertoire of electroacoustic music in its different variants is an unavoidable catalog in the panorama of sound creation today. Its study and analysis has been faced from different approaches since the twentieth century applying multiple methodologies and tools. The first part of the article lists and explains succinctly different digital tools and the most relevant analytical models implemented in recent years in the study of this repertoire, establishing a series of examples of authors such as François Delalande, Michael Clarke, Laura Zattra, Stephane Roy, Leigh Landy or Simon Emmerson among others. From the description of the current state of the situation, an analytical procedure is proposed for electroacoustic music based on sound synthesis using tools extracted from *MIRToolbox* with the aim of obtaining quantitative information expressed graphically and numerically about the structure, temporality, organization, timbre, intensity, pitch and duration of the sound events.

Keywords: analysis, electroacoustic, digital tools, methodology, musical software

Recepción: 10-02-2022

Aceptación: 7-04-2022

INTRODUCCIÓN

El campo del análisis musical se enfrenta en la actualidad a una serie de cuestiones que se han puesto de manifiesto por la propia evolución y desarrollo de la creación sonora. El incremento e importancia que vienen asumiendo los nuevos repertorios y estilos musicales hacen ineludible la necesidad de unas metodologías y herramientas analíticas que se adecúen al objeto de estudio en cuestión. Con respecto a estas últimas, es necesario destacar el avance observado en los entornos digitales que, de manera incuestionable, ya forman un importante apartado, no solo en el estudio de las obras musicales, sino, también, en el de la composición e interpretación.

Partiendo de esta situación, se propone una metodología analítica para un repertorio concreto: obras basadas en la síntesis sonora de las que se disponga exclusivamente el audio. Esta elección, y la propuesta que la acompaña, se justifican en que las obras que componen dicho repertorio son, o difícilmente inteligibles a través de metodologías de estudio propias de otros repertorios, o pretenden ser estudiadas a través de elementos extra-musicales y contextuales alejados de las cualidades sonoras.

A lo largo del texto se aborda, en primer lugar, la situación actual en el uso de herramientas digitales en el análisis musical en general, y las metodologías principales presentes en el estudio de la música electroacústica. Someramente, se señalarán las características de las más relevantes. A continuación, y partiendo de lo expuesto, se presenta un planteamiento adecuado para el repertorio escogido. Este artículo recoge una parte de la investigación realizada en el ámbito académico en años anteriores y presenta solo un fragmento de la misma, debido a las dimensiones del trabajo del que se extrae la información. El contenido solo recoge un resumen de la sección dedicada a la revisión del estado de la cuestión y el planteamiento metodológico. En sucesivas publicaciones se irán poniendo a disposición de la comunidad científica y cualquier interesado los resultados de los análisis realizados.

HERRAMIENTAS DIGITALES APLICADAS AL ANÁLISIS MUSICAL

Representaciones sonoras

Gran parte de los diferentes paradigmas analíticos, sobre todo del «repertorio tradicional», centran su estudio en las representaciones sonoras. Previo a la segunda

mitad del siglo XX, y desde la Baja Edad Media, el soporte gráfico más habitual solía ser la partitura (en sus muy variadas tipologías) y, de manera más excepcional, otros tipos de dibujos o esquemas. Los diferentes tipos de software musicales han venido implementando otras variantes que toman como referencia aspectos connaturales del fenómeno sonoro (las tradicionalmente entendidas como cualidades del sonido).

La representación de la amplitud en el tiempo, también denominada *waveform* (Imagen 1), es una de las más comunes, y frecuentemente utilizada por la mayoría de los tipos de software dirigidos a la edición de sonido. Este tipo de muestra presenta, en su eje horizontal, el tiempo, y en su eje vertical, la intensidad.



Imagen 1. Representación de la amplitud en el tiempo

La representación de la frecuencia en el tiempo, también denominada «espectrograma» (Imagen 2), permite observar en el eje vertical el espectro, así como la intensidad de las frecuencias, la cual viene señalada por la variación y gradación en el color. Al igual que la *waveform*, es una de las más comunes en los programas de software comerciales.

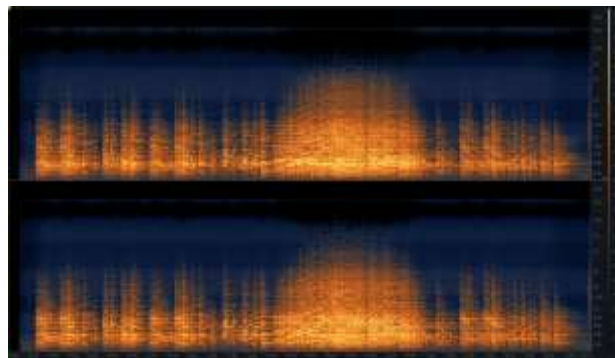


Imagen 2. Representación del espectro sonoro en el tiempo

Una variante del «espectrograma», es el conocido como *spectograph*. En este tipo de representación se muestra qué parciales integran un espectro y con qué intensidad lo constituyen. Nos permite observar el «interior del sonido» en un momento determinado.

Otro tipo de plasmación del sonido son los gráficos paramétricos, los cuales muestran el comportamiento en el tiempo de algunos o varios de los aspectos del audio. Suelen ser realizados como soportes gráficos para la composición y el análisis, aunque, en ocasiones, también son utilizados para la interpretación. La transcripción gráfica de las distintas categorías difiere según los compositores o investigadores. Son las representaciones visuales que más se asemejan a una partitura con notación convencional, aunque cada uno los parámetros quedan reflejados de forma individualizada. Destaca, como ejemplo, la sección gráfica de la partitura *Studie II* (1954) de Karlheinz Stockhausen (Imagen 3).

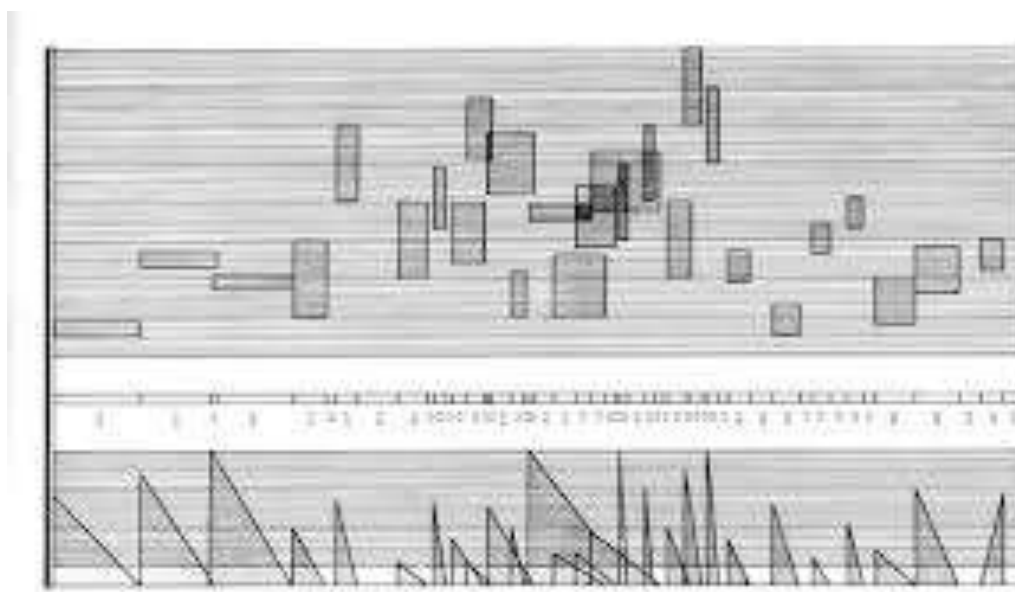


Imagen 3. Representación paramétrica de *Studie II* (1954) de Karlheinz Stockhausen

La transcripción gráfica, comúnmente conocida como «musicograma», se vale de signos o símbolos arbitrarios para representar las distintas cualidades sonoras. Son una variante de las partituras tradicionales que da muestra, por sus diferentes y personales realizaciones, de la problemática en torno a la plasmación visual del sonido. Supone un

ejemplo paradigmático la transcripción gráfica de la obra *Artikulation* (1958) de Gyorgy Ligeti realizada por Rainer Wehinger²⁷⁹ (Imagen 4). Este tipo de representaciones han sido desarrolladas ampliamente en el contexto de la investigación musical francesa²⁸⁰.

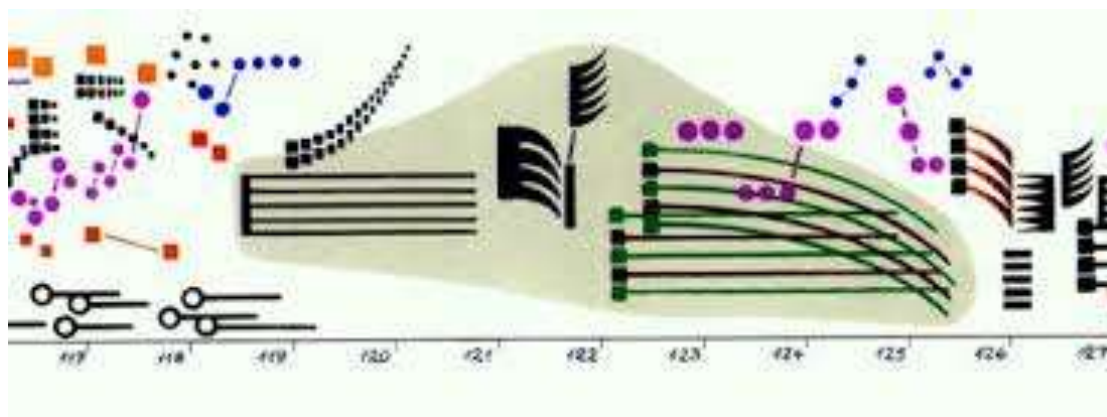


Imagen 4. Representación gráfica de *Artikulation* (1958) de Gyorgy Ligeti

En su aplicación existen diferentes modelos desarrollados por autores y compositores para el estudio de obras concretas. La taxonomía de todos los casos excede las pretensiones de este artículo, pero cabe destacar el modelo de Jean-Louis Di Santo²⁸¹.

Software no específico

El desarrollo tecnológico, la computadora, y su aplicación en el ámbito musical, han venido unidos a la aparición de gran variedad de programas de software que trabajan con el sonido. Muchos de ellos, han sido diseñados originalmente para la creación sonora (*Max/MSP*, *PureData*, *SuperCollider*, etc.), y otros, se centran en el aspecto que nos interesa, el análisis musical. Bien es cierto que los propios entornos dirigidos a la composición, así como muchas de las herramientas que los integran, han

²⁷⁹ La obra en su versión sonora, junto a la transcripción gráfica, son accesibles en línea. <https://www.youtube.com/watch?v=71hNI_skTZQ> (Consultado 20-01-2022).

²⁸⁰ Existen numerosos proyectos e implementaciones de herramientas dirigidas a este tipo de representación musical, creadas en las instituciones *IRCAM* y *GRM*.

²⁸¹ Jean-Louis Di Santo, «A Sign to Write Acousmatic Score», en: *Tenor 2015. First International Conference on Technologies for Music Notation and Representation* [en línea], 2015. <<http://tenor2015.tenor-conference.org/papers/14-DiSanto-AcousticScores.pdf>>

servido para tareas para las cuales no estaban diseñados originalmente, como el estudio de diferentes obras del repertorio.

En los últimos años se han realizado trabajos sobre obras principales de la música electroacústica por medio de su «recomposición», a través de tipos de software no diseñados para esta tarea, ya que no habían sido concebidos en origen como herramientas para el análisis musical. De esta manera se ponen de manifiesto los procedimientos creativos y técnicos llevados a cabo por los compositores de las diferentes obras investigadas. Caben destacar, entre otras acciones, la implementación de la obra *Studie II*, de K. Stockhausen, por parte de Georg Hajdu²⁸² en el software *Max/MSP*, o, de esta misma obra por parte de Joachim Heintz²⁸³, en *Csound*. A partir de la misma herramienta Olivier Baudouin²⁸⁴ realizó la reconstrucción de *Stria* (1977) de John Chowning.

Software específico

Otros tipos de software relevantes son los diseñados específicamente para la práctica analítica. Se plantean como soluciones personales a distintas metodologías de trabajo, o como conjunto de herramientas de plurales objetivos.

En el primer caso cabe destacar *SYBIL*²⁸⁵ desarrollado por Michael Clarke²⁸⁶, y otros, como la implementación del modelo «Auditivo-Interactivo» para análisis de la música electroacústica. Un ejemplo representativo se muestra en el uso de esta herramienta para el estudio de la obra *Mortuos Plango, Vivos Voco*²⁸⁷, de Jonathan Harvey. Por otro lado, *EAnalysis* (Imagen 5), diseñado y elaborado por Pierre

²⁸² Este trabajo es accesible a través de la propia página del compositor. <<http://georghajdu.de/6-2/studie-ii/>> (Consultado 20-01-2022). También se puede escuchar y ver una reconstrucción del software en una captura de video. <https://www.youtube.com/watch?v=qi4hgT_d0o> (Consultado 20-01-2022).

²⁸³ Este trabajo es accesible en línea. <<http://icem-www.folkwang-uni.de/icem-web/jan-baumgart-studie-ii-rekonstruktion-v0-1/>> (Consultado 20-01-2022).

²⁸⁴ Olivier Baudouin, «A Reconstruction of *Stria*», *Computer Music Journal*, 31/3, 2007, pp. 75-81.

²⁸⁵ *Synthesis By Interacting Learning*. Está desarrollado en el software *Max/MSP*.

²⁸⁶ Michael Clarke, Ashley Watkins, Mathew Adkins y Mark Bokowiec, «Sybil: Synthesis by Interactive Learning», *International Computer Music Conference* [en línea], 2004, <http://mhm.hud.ac.uk/sybil/downloads/sybil_icmc04.pdf> (Consultado 20-01-2022).

²⁸⁷ El software es accesible en línea en la web de Sybil. <<http://mhm.hud.ac.uk/sybil/modules.htm>> (Consultado 20-01-2022).

Couprrie²⁸⁸, supone un entorno en el cual son relevantes las diferentes propuestas personales de representación gráfica de obras electroacústicas, con el fin de buscar la comprensión del receptor, sea o no un analista entrenado.

El *Acousmographie*²⁸⁹, es un software que permite realizar esquemas gráficos, cercanos a los musicogramas, y reproducirlos sincrónicamente, realizando un seguimiento de la representación. Tanto *EAnalysis* como el *Acousmographie* son utilizados en un estudio comparativo de Landon Morrison²⁹⁰ sobre *M.É.* (1999), de Philippe Leroux, con un resultado insatisfactorio, debido a la ausencia de una metodología valorativa de los resultados obtenidos en la índole gráfica. Por último, referir *L'acoumoscribe*²⁹¹, herramienta dirigida a una doble vertiente (compositiva y analítica), diseñada y aplicada por Jean Louis Di Santo.

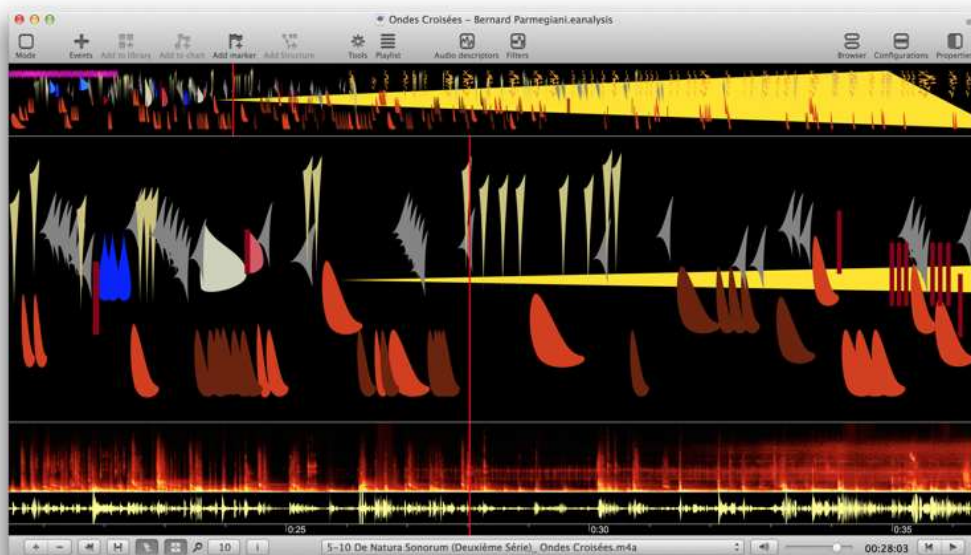


Imagen 5. Representación gráfica en *EAnalysis* de *Ondes Croisées – De Natura Sonorum* (1975) de Bernard Parmegiani

²⁸⁸ La herramienta *EAnalysis*, la documentación del software y ejemplos de análisis realizados por Pierre Couprrie son accesibles en la web del investigador

<http://logiciels.pierrecouprrie.fr/?page_id=402> (Consultado 20-01-2022).

²⁸⁹El software está disponible en la web del INA GRM. <<https://inagrm.com/en/showcase/news/203/acousmographie>> (Consultado 20-01-2022).

²⁹⁰ Landon Morrison, «Graphical Music Representations: A Comparative Study Base on the Aural Analysis of Phillippe Leroux's *M.É.*», *Proceedings of the Electroacoustic Music Studies Network* [en línea], 2014 <http://www.ems-network.org/IMG/pdf_EMS14_morrison.pdf> (Consultado 20-01-2022).

²⁹¹ Disponible en la web del compositor e investigador Jean Louis Di Santo. <<http://jean-louis.disanto.pagesperso-orange.fr/recherche.html>> (Consultado 20-01-2022).

Destacan las herramientas agrupadas bajo el movimiento *MIR*²⁹². El enfoque analítico propuesto desde esta metodología supone el extraer información cuantitativa, para así establecer una descripción del fenómeno sonoro lo más objetivamente posible. El trabajo desde esta postura de la investigación musical ha venido desarrollándose y expandiéndose a lo largo del siglo XXI, existiendo hoy día una gran cantidad de bibliografía en torno a esta forma de trabajo en el estudio musical. Muestra de ello, es la existencia de una organización internacional que agrupa y coordina proyectos de investigación y actividades en todo el mundo: *ISMIR*²⁹³. Cabe destacar la variedad y los diferentes aspectos musicales en los que están centradas estas herramientas. Como referente destacaremos la *MIRToolbox*²⁹⁴, un conjunto de funciones desarrolladas en *MATLAB*²⁹⁵. La propuesta que se lleva a cabo en este estudio se vale de estas herramientas para el propio proceso analítico.

MÚSICA ELECTROACÚSTICA: PARADIGMAS METODOLÓGICOS DE SU ESTUDIO Y ANÁLISIS

Partiendo de la tripartición establecida por Jean Jacques Nattiez y Jean Molino para la división del estudio de la obra musical en los niveles neutro (*trace*), poético (*poietic dimension*) y estésico (*esthesis dimension*)²⁹⁶, clasificaremos las diferentes metodologías actuales atendiendo en qué dimensión del fenómeno musical centran su análisis.

²⁹² *Music Information Retrieval*.

¹⁵ *International Society of Music Information Retrieval*. En línea: <<http://www.ismir.net>> (Consultado 20-01-2022).

¹⁶ Estas herramientas están accesibles a través de la web de la propia institución. En línea: <<https://www.jyu.fi/hum/laitokset/musiikki/en/research/coe/materials/mirtoolbox>> (Consultado 20-01-2022).

²⁹⁵ MATLAB es una plataforma de programación y cálculo numérico diseñada para analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos.

¹⁸ (a) *The poietic dimension: even when it is empty of all intended meanings, as it is here, the symbolic form results from a process of creation that may be described or reconstituted.*

(b) *The esthesis dimension: 'receivers', when confronted by a symbolic form, assign one or many meanings to the form; the term 'receiver' is, however, a bit misleading. Clearly in our test case we do not 'receive' a 'message's', meaning (since the producer intended none) but rather a construct meaning, in the course of an active perceptual process.*

(c) *The trace: the symbolic form is embodied physically and materially in the form of a trace accessible to the five senses. We employ the Word trace because the esthesis process is heavily dependent upon the lived experience of the 'receiver'. Molino proposed the name niveau neutre or niveau matériel for this trace. Jean-Jacques Nattiez, Music and discourse: Towards a semiology of music, Nueva Jersey, Princeton University Press, 1990, pp. 11-12.*

Nivel estético

El análisis «Tipo-morfológico» fue teorizado por Pierre Schaeffer en su *Tratado de los objetos musicales*²⁹⁷. Supone, fundamentalmente, un catálogo de sonidos, aunque este tratado tiene una faceta analítica, así como para servir de fundamento a otros muchos modelos posteriores. Su teoría está planteada originalmente con un fin compositivo. Cabe diferenciar dos categorías básicas:

- Morfología: describe las cualidades sonoras (las características del «objeto sonoro»). Asimismo, distingue varios aspectos característicos: «masa», «timbre», «armonía», «grano», «*allure*», etc.
- Tipología: clasificación de los sonidos a través de cuatro criterios. Estos son: «material», «mantenimiento», «forma» y «variación». Llega a diferenciar veintinueve tipologías sonoras diferentes, a partir de los criterios anteriores.

Los objetos sonoros se establecen en tres planos de referencia (Imagen 6): melódico o de textura, dinámico o formal, y armónico o tímbrico.

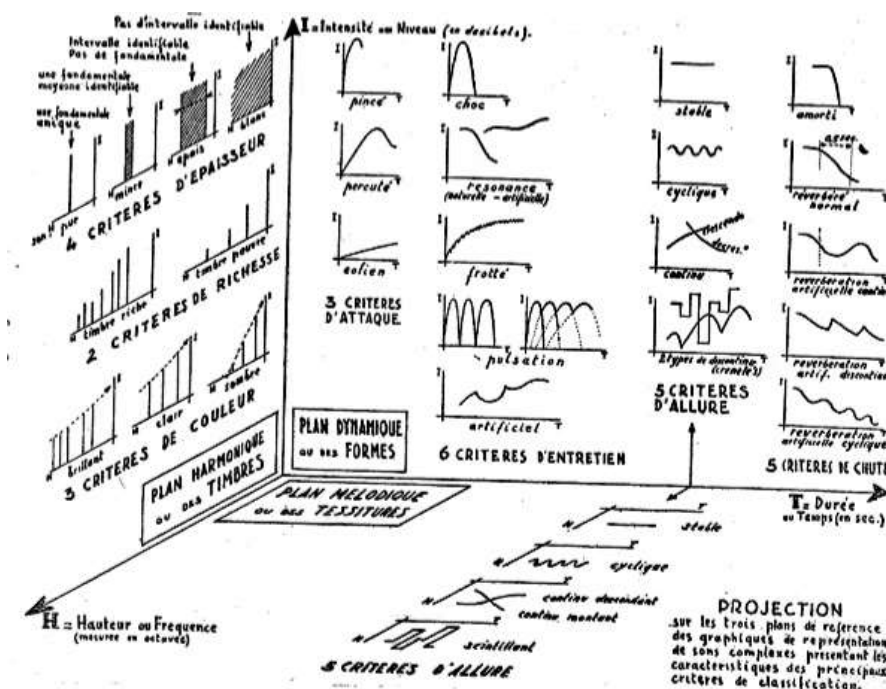


Imagen 6. Representación gráfica de los tres planos de clasificación en el modelo de Pierre Schaeffer

²⁹⁷ Pierre Schaeffer, *Tratado de los objetos musicales*, Madrid, Alianza Editorial, 2003.

Otra metodología supone el análisis por «clasificación», diseñado por el músico y compositor canadiense R. Murray Schafer²⁹⁸. En este modelo se establecen cuatro categorías para la clasificación de los sonidos, según se atiende a las características físicas (acústica), las características perceptivas (psicoacústicas), la función y significado (semiótica y semántica) y las cualidades emocionales o afectivas (estética).

Para llevar a cabo la clasificación de las características físicas en esta reseñada metodología, se parte del modelo de Pierre Schaeffer (análisis «tipo-morfológico»). Se subdivide el evento sonoro en «ataque», «cuerpo» y «decaimiento». Además, dentro del propio fenómeno sonoro, la descripción física se centra en cuatro aspectos: duración, frecuencia o masa, fluctuación o grano y dinámica. La clasificación de los aspectos referenciales (semántica), se establece a través de cinco grandes grupos: «sonidos naturales», «sonidos humanos», «sonidos y sociedad», «sonidos mecánicos», «calma y silencio». Como aportes originales y principales de esta metodología destacan la introducción de los conceptos «contextos sonoros» y «competencia sonológica».

El análisis de «conductas auditivas» originalmente será diseñado y aplicado por François Delalande²⁹⁹. Los trabajos de Delalande parten del concepto de «objeto sonoro» (en este sentido, destacan sus análisis sobre obras de Pierre Schaeffer³⁰⁰ y Pierre Henry³⁰¹) y se centran en la percepción del oyente. Tomando conceptos extraídos de los campos de la psicología y del comportamiento, estos trabajos se fundamentan en el análisis de los datos obtenidos a través de la información aportada por grupos de auditores, estableciendo comparativas entre las diferentes conductas auditivas de los oyentes ante una misma obra. A la hora de establecer una clasificación, Delalande diferencia tres tipologías de conductas auditivas: «tipo taxonómico», «tipo enfático» y «tipo figurativo».

²⁹⁸ Esta teoría está desarrollada, así como su pensamiento, en torno al «arte sonoro», siendo desarrollada en los textos: R. Murray Schafer, *The new Soundscape*, Nueva York: Associated Music Publisher, 1969 y R. Murray Schafer, *El paisaje sonoro y la afinación del mundo*, Barcelona, Intermedio, 2013.

²⁹⁹ François Delalande, *Las conductas musicales*, Santander, Ediciones Universidad de Cantabria, 2013.

³⁰⁰ François Delalande, «L'analyse des musiques électroacoustiques», *Musique en Jeu*, 8, 1972.

<https://www.francois-delalande.fr/app/download/4898534063/1972_analyse_des_musiques_ea.pdf?t=1592648730>

(Consultado 20-01-2022).

³⁰¹ François Delalande, «Music Analysis and reception behaviours: *Sommeil* de Pierre Henry», *Journal of New Music Research*, 27/1, 1998, pp. 13-66.

Por otra parte, quizás uno de los modelos más extendidos sea el análisis «espectromorfológico». Esta metodología parte de la teoría de Pierre Schaeffer y es desarrollada, en origen, por Dennis Smalley³⁰² en los años ochenta. Posteriormente se le suma la aportación de muchos otros investigadores, como Lasse Thoresen³⁰³. El «análisis espectromorfológico» se define como una herramienta descriptiva basada en la percepción aural. Se lleva a cabo una selección de los criterios analíticos relevantes desde un acercamiento perceptual-auditivo. Supone un estudio del espectro en la dimensión temporal (*motion*) el cual se desarrolla por medio de cinco tipos de analogías posibles: *unidirectional*, *bi-directional*, *reciprocal*, *centric/cyclic* y *eccentric/multidirectional*. A su vez, estas categorías plantean diferentes posibilidades, estableciéndose una taxonomía muy amplia (véase la Imagen 7). En el espectro se diferencian distintos elementos que lo definen, además de aportar cómo se comportan internamente. Los elementos constituyentes se clasifican en: «nota» (puede ser exacta, armónica o enarmónica), «nodo» y «ruido».

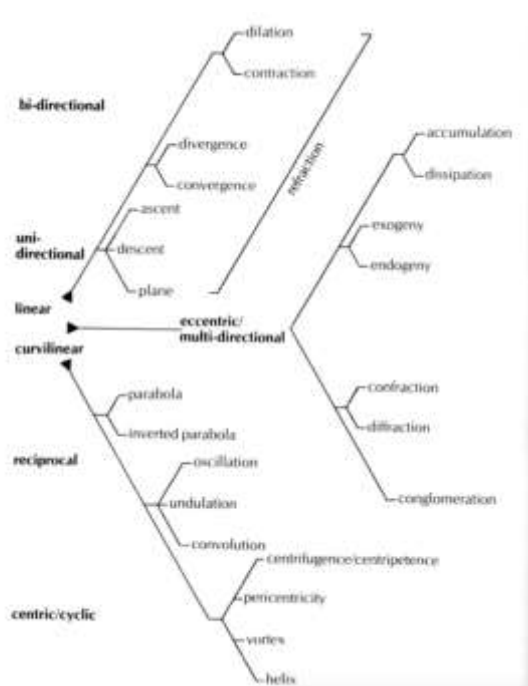


Imagen 7. Esquema de las posibilidades comportamentales del *motion*

³⁰² Dennis Smalley, «Spectro-morphology and structuring processes», en: *The language of Electroacoustic Music*, Simon Emmerson (editor), Londres, Macmillan Press, 1986, pp. 61-93.

³⁰³ Lasse Thoresen, «Spectromorphological Analysis of Sound-objects: An adaptation of Pierre Schaeffer's Typomorphology», *Organised Sound*, 12/2, 2007, pp. 129-141.

Diseñado y expuesto por Simon Emmerson³⁰⁴, el análisis de «sonido-imagen-sintaxis» supone, como en los casos anteriores, un acercamiento basado en la experiencia de la escucha. El objetivo principal es el examen de las imágenes referenciales que dimanan de la experiencia sonora. El modelo se desenvuelve a través del estudio de las categorías «discurso» y «sintaxis». Emmerson diferencia tres tipos de discursos: «discurso aural», «discurso mimético» y la combinación de ambos. Por otro lado, distingue tres tipos de sintaxis: *abstract*, *abstracted* y la combinación de ambas.

Plasmado en el trabajo teórico de Leigh Landy³⁰⁵, el modelo analítico *Something to hold on to factor* supone un intento de describir el fenómeno de la escucha en obras que, normalmente, no contienen aspectos formales y musicales tradicionales, como la melodía o los ritmos esquematizados. Landy establece cinco elementos a los que la escucha se aferra: parámetros tradicionales (dinámica, altura, etc.), la homogeneidad y diferencia entre sonidos, texturas que no superan más de cuatro elementos diferenciados, el programa, y otros aún no descubiertos.

La metodología analítica «auditiva-interactiva» surge a partir de los trabajos de Dennis Smalley, siendo desarrollado por Michael Clarke³⁰⁶. Tiene como objeto de estudio principal a las obras que no han sido fijadas en soportes visuales o representaciones gráficas de algún tipo. Ha sido implementado en el software *Max/MSP* a través de la aplicación *SYBIL*³⁰⁷. Además, para este modelo de estudio se han de contar con una gran variedad de herramientas digitales denominadas *TIAALS*³⁰⁸ (*Tools for Interactive Aural Analysis*). Destacan las funciones de

³⁰⁴ Simon Emerson, «The Relation of Language and Materials», en: *The Language of Electroacoustic Music*, Simon Emerson (editor), Londres, Macmillan Press, 1986, pp. 17-39.

³⁰⁵ Leigh Landy, «The "Something to Hold on to Factor in Timbral Composition», *Contemporary Music Review*, 10/2, 1994, pp. 49-60 y Leigh Landy, *Understanding the Art of Sounds*, Cambridge, The MIT Press, 2007.

³⁰⁶ Michael Clarke, «Extending Interactive Aural Analysis: Acousmatic Music», *Proceedings of Electroacoustic Music Studies Network* [en línea], 2009. <<https://research.hud.ac.uk/institutes-centres/iaa/>> (Consultado 20-01-2022) y Michael Clarke, «Analysing Electroacoustic Music: an Interactive Aural Approach», *Music Analysis*, 31/3, 2012, pp. 347-380.

³⁰⁷ Véase Cit. 6.

³⁰⁸ Disponible en la web de la *University of Huddersfield*. En línea: <<http://www.hud.ac.uk/research/researchcentres/tacem/>> (Consultado 20-01-2022).

Para más información de su funcionamiento véase: Michael Clarke, Frédéric Defeu y Peter Manning, «TIAALS: A New Generic Set of Tools for the Interactive Aural Analysis of Electroacoustic Music», *Proceedings of the Electroacoustic Music Studies Network* [en línea], 2013, <<http://www.ems->

representación gráfica (a través del *sonograma*), reconocimiento de la altura (*pitch* y *frequency*), además de la situación espacial. Resulta de este procedimiento analítico paradigmático el autoanálisis de *Wind Chimes*³⁰⁹ (2010), del propio Michael Clarke. Plantea dos técnicas de análisis interactivo (receptor-obra): por un lado, el estudio de la representación gráfica y, por otro, la audición de fragmentos sonoros.

Teorizado originalmente por Albert S. Bregman³¹⁰, el modelo *Auditory Scene Analysis* tiene un amplio desarrollo por diferentes investigadores en años posteriores. Parte del estudio de la audición humana como paradigma de la escucha del fenómeno sonoro (*human audition is very effective*). Tiene como objetivo la organización de los eventos sonoros en estructuras comprensibles, llevando a cabo un proceso analítico en dos fases iniciales: dividir la «mezcla» en elementos mínimos, y agrupar las subdivisiones en grupos marcados. Se ha llevado a cabo una implementación digital-automatizada con diferentes funciones en el proyecto *CASA*³¹¹. Una de las aplicaciones de las herramientas diseñadas es el estudio de señales musicales de diferentes repertorios, aunque destaca su interés en el campo de la electroacústica³¹².

Nivel neutro

El análisis de *Functional Grid* es diseñado por Stephane Roy³¹³, y parte de la metodología de Pierre Schaeffer. Supone una mezcla de principios de la teoría de la *Gestalt* y elementos recogidos de los trabajos perceptivos de Leonard B. Meyer³¹⁴. El procedimiento analítico plantea un marco de trabajo para la construcción de interpretaciones de la sintaxis musical, atendiendo a las expectativas del oyente. Esta metodología está basada en la identificación de las «unidades sonoras» del discurso.

network.org/IMG/pdf/ems13_clarke_dufeu_manning.pdf> (Consultado 20-01-2022).

³⁰⁹ Este trabajo, así como otros del mismo autor, están accesibles en la web de la Universidad de Huddersfield. En línea: <<https://research.hud.ac.uk/institutes-centres/iaa/>> (Consultado 20-01-2022).

³¹⁰ Albert S. Bregman, *Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound*. Cambridge, Mass., Bradford Books, MIT Press, 1990.

³¹¹ *Computational Auditory Scene Analysis*.

³¹² Masataka Goto, «Analysis of Musical Audio Signals», en: *Computational Auditory Scene Analysis. Principles, Algorithms, and Applications*, DeLiang Wang y Guy J. Brown (editors), Hoboken (Nueva Jersey), John Wiley & Sons, Inc., 2006, pp. 251-289.

³¹³ Stephane Roy, *L'analyse des musiques électroacoustiques: Modèles et propositions*, París, L'Harmattan, Univers Musical, 2003.

³¹⁴ Véase Leonard B. Meyer, *Explaining Music. Essays and Explorations*, Londres, University California Press, 1973.

Distingue cuatro categorías principales: «orientación», «estratificación», «proceso» y «retórica». A su vez, estas se subdividen en cuarenta y cinco funciones. El propio Roy ha realizado análisis a través de esta metodología en repertorio de música electroacústica basada en síntesis sonora, destacando el estudio sobre la primera sección de la segunda parte de *Théâtre d'Ombres* (1988), denominada *Ombres Blanches*, de François Bayle³¹⁵.

Nivel poiético

Metodología muy ligada al desarrollo de herramientas tecnológicas aplicadas a la creación musical. Destacan, ya en el siglo XXI, los estudios realizados por Laura Zattra³¹⁶ y Denis Lorrain³¹⁷. Se pretende un acercamiento al proceso compositivo de la obra musical a través de los materiales, software, grabaciones, textos, etc., utilizados por el compositor durante la génesis de la pieza. En esta metodología se ponen en valor otros aspectos ajenos al oyente o el propio fenómeno sonoro en su soporte físico.

PROPUESTA METODOLÓGICA: HACIA LA OBJETIVACIÓN DE UN ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Marco teórico

Como se ha visto reflejado, revisando las más importantes metodologías y propuestas analíticas dirigidas a la música electroacústica, la mayoría de ellas están enmarcadas dentro del nivel estésico, según la terminología de Nattiez. Por otro lado, el nivel poiético es compensado, en gran parte de estos paradigmas, por información aportada acerca de los compositores (de índole técnica, estética, biográfica, etc.), aunque, bien es cierto que no se profundiza en las relaciones establecidas entre estos aspectos y la recepción por parte del oyente o las propias obras. En cualquier caso, llama la atención la escasez de metodologías que ponen su atención en el nivel neutro.

³¹⁵ Stéphane Roy, «Functional and Implicative Analysis of *Ombres Blanches*», *Journal of New Music Research*, 27, 1998, pp. 166-192.

³¹⁶ Laura Zattra, «The assembling of “Stria” by John Chowning: A philological investigation», *Computer Music Journal*, 31/3, 2007, pp. 38-64.

Laura Zattra, «Searching for lost data: outlines of esthesis-poietic analysis», *Organised sound*, vol. 9, no. 1, abril 2004, pp. 35-46.

³¹⁷ Denis Lorraine, «Analyse de la bande magnetique de l'oeuvre de Jean-Claude Risset Inahrmonique», *Rapports IRCAM*, 26/80, 1980.

Aunque entendemos que un trabajo analítico no puede centrarse exclusivamente en esta dimensión, la información aportada por el estudio de la obra en sí puede ayudar a dotar de valor y enriquecer otros datos. Persiguiendo un acercamiento holístico al estudio de la creación musical, y siendo objetivos principales de la tarea del estudio analítico el describir y significar en un contexto determinado, es necesario asumir una postura que se aproveche de una multiplicidad de perspectivas³¹⁸.

Por lo tanto, esta propuesta se dirige al elemento que se observa menos desarrollado en el estudio de este repertorio: la descripción, lo más objetiva posible, del propio material sonoro. En el ámbito del análisis musical, un aspecto fundamental y principal son las herramientas de la investigación. Existe la necesidad de realizar estudios que apliquen metodologías actuales a la hora de abordar el nuevo repertorio³¹⁹. Ejemplos como los análisis de *Mortuos Plango, Vivos Voco*, realizados por Paul Griffiths³²⁰ y que utiliza las herramientas de análisis serial, o el de Clarke³²¹ que se basa en la interactuación aural, no abordan la problemática acerca de la descripción objetiva que antes se apuntaba, y en el caso de Griffiths, la aplicación de ciertas metodologías diseñadas originalmente para otros repertorios no parece la más acertada.

La asunción de diferentes herramientas, atendiendo a las diferentes obras, nos permitirá un acercamiento más adecuado en cada caso³²². En este sentido, el foco se dirige a las herramientas digitales como potenciales fuentes de información y la generación de un protocolo definido, válido para distintas obras, que permita obtener información significativa a partir de la comparación de los datos resultante de su aplicación a diferentes objetos de estudio, y así evitar los problemas existentes en protocolos ya utilizados con herramientas digitales que han estudiado repertorios de

³¹⁸ Rajmil Fischman, «A Systematic Approach to the Analysis of Music for Tape», *Proceedings, International Computer Music Conference, Digital Playgrounds*, 1995, pp. 467-474.

³¹⁹ Carlos Villar-Taboada, «De la técnica al significado: debates y modelos en torno al análisis atonal», *Música, ciencia y pensamiento en España e Iberoamérica durante el siglo XX*, Leticia Sánchez de Andrés y Adela Presas (editores), Madrid, Comunidad de Madrid - Universidad Autónoma de Madrid, Servicio de Publicaciones, colección Música y Musicología, 1, 2013, pp. 161-205.

³²⁰ Paul Griffiths, «Three Works by Jonathan Harvey: The Electronic Mirror», *Contemporary Music Review* 1, no. 1, 1984, pp. 87-109.

³²¹ Michael Clarke, «Jonathan Harvey's *Mortuos Plango, Vivos Voco*», en: *Analytical Methods of Electroacoustic Music*, Mary Simoni (editor), Nueva York, Routledge, 2006, pp. 111-143

³²² María Nagore Ferrer, «El análisis musical, entre el formalismo y la hermenéutica», *Músicas al Sur*, 1, 2005 [en línea] <<http://www.eumus.edu.uy/revista/nro1/nagore.html>> (Consultado 20-01-2022).

música electroacústica de carácter complejo. Un estudio de referencia en este caso es el realizado por Francesca Nucibella, Savino Porcelluzzi y Laura Zattra sobre *Winter Leaves* (1980), de Mauro Graziani. En este caso, la metodología aplicada se centraba exclusivamente en el estudio de la detección de alturas con una matriz de *autosimilitud* y un descriptor morfológico, aflorando unas problemáticas evidentes recogidas en el propio trabajo³²³.

Proceso analítico

Una vez escogido el fragmento sonoro³²⁴, la propuesta se articula en dos pasos: la segmentación y el estudio pormenorizado de diferentes aspectos característicos de los mismos. Ambas acciones se llevarán a cabo con las funciones agrupadas en *MIRToolbox*.

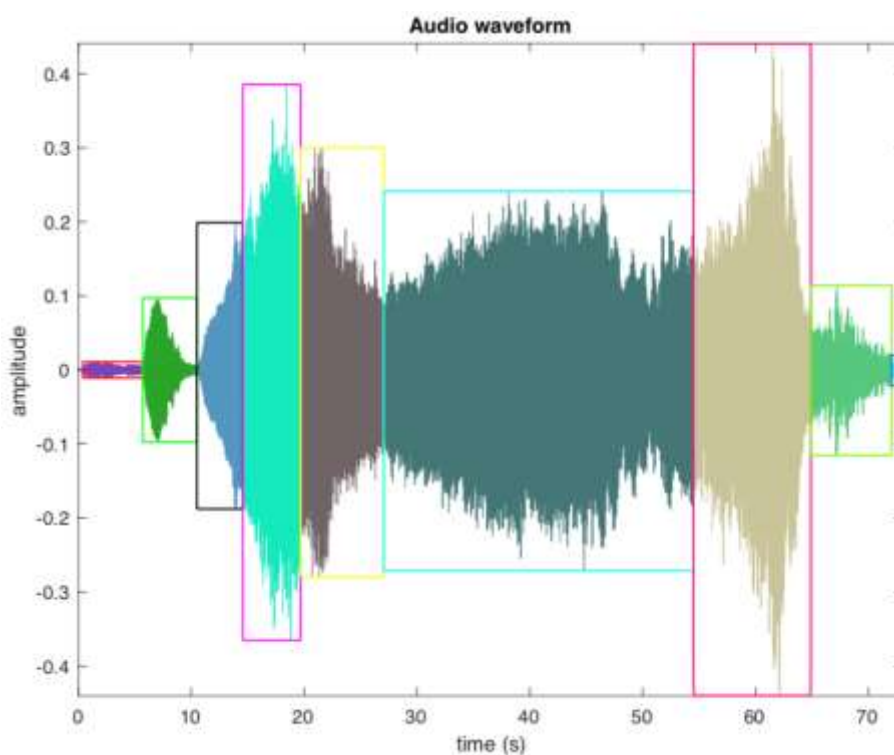


Imagen 8. Seg⁴ sobre el comienzo de *Stria* (1977) de John Chowning

³²³ Francesca Nucibella, Savino Porcelluzzi y Laura Zattra, «Computer Music Analysis Via a Multidisciplinary Approach» [en línea], 2005 <<http://smc.afim-asso.org/smc05/papers/FrancescaNucibella/FNSPLZ.pdf>> (Consultado 20-01-2022).

³²⁴ Los ejemplos que se muestran son el resultado de los análisis realizados al comienzo de la obra *Stria* (1977), de John Chowning.

Segmentación (se)

El fundamento teórico sobre el que se establece proviene de los planteamientos que propone Hanninen³²⁵ para el análisis musical de cualquier tipo de repertorio. El fraccionamiento se lleva a cabo por medio de la función *mirsegment* que divide una señal en secciones atendiendo a distintos procedimientos. Aquellos que intervendrán en este proceso de analítico son:

- Seg1: Segmentación por medio de una matriz de auto-similitud: *mirsegment(a, 'Novelty')*³²⁶.
- Seg2: Segmentación por detección de silencios. Se toma, por defecto, la duración de 0.07s como duración mínima para la activación de la puerta (*mirsegment(a, 'RMS', 'On', 0.07)*).
- Seg3: Segmentación por detección de cambio armónico (*mirsegment(a, 'HCDF')*)³²⁷.
- Seg4: Segmentación basada en el análisis del espectro (*mirsegmente(a, 'Spectrum', 'KernelSize', 150, 'Contrast', .1)*) -Imagen 8-

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS SONORAS

Amplitud (Amp)

Extracción de la envolvente de amplitud de la señal a partir del uso de filtros pasa bajos, siendo previamente realizada una transformada de Hilbert (*mirenvelope(a, 'Filter', 'Hilbert')*).

Altura (Alt)

Para reconocer la banda de frecuencias predominante en el fragmento planteamos el siguiente procedimiento:

³²⁵ Doara A. Hanninen, «Orientations, Criteria, Segments: A General Theory of Segmentation for Music Analysis», *Journal of Music Theory*, 45/2, 2001, pp. 345-433.

³²⁶ Jonathan T. Foote, Matthew L. Cooper, «Media Segmentation using Self-Similarity Decomposition», *Proceedings of Spie-IS&T Electronic Imaging* [en línea], 2003 <https://www.researchgate.net/publication/2568117_Media_Segmentation_using_Self-Similarity_Decomposition/link/0deec529cd3bce3d7e000000/download>

³²⁷ Christopher Harte, Mark Sandler y Martin Gasser (2006). «Detecting harmonic change in musical audio». *Proceedings of Audio and Music Computing for Multimedia Workshop* [en línea], Santa Barbara, 2006, <<https://ofai.at/~martin.gasser/papers/oefai-tr-2006-13.pdf>>

- Alt1: Se aplica la función de *autocorrelación* de manera estándar ($mirautocor(a)$) y «mejorada» ($mirautocor(ac, 'Enhanced', 2:10)$)³²⁸. Por último, se vuelve a aplicar una función de correlación, pero expresando el resultado en el dominio de la frecuencia ($mirautocor(ad, 'Freq', 'Min', 20, 'Max', 18000)$).

Para establecer la evolución en el tiempo de las alturas predominantes a lo largo del fragmento se realizan dos operaciones:

- Alt2: Utilización de la función *mirpitch* en su variante de descomposición en *frames*, donde los valores *hop factor* y *window length* sean, respectivamente, 10 ms y 46.4 ms³²⁹, y la banda de detección de frecuencias se establezca entre los 20 y 18000 Hz ($mirpitch(a, 'Frame', 'Min', 20, 'Max', 18000)$) -Imagen 9-.

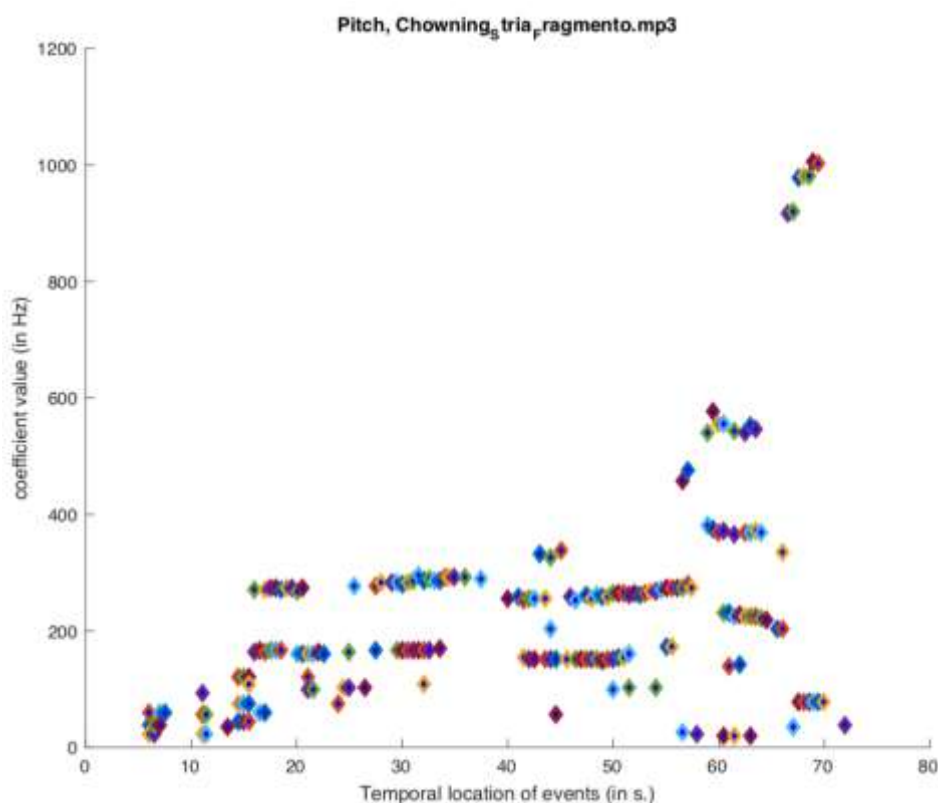


Imagen 9. Alt2 sobre el comienzo de *Stria* (1977) de John Chowning

³²⁸ Tero Tolonen y Matti Karjalainen, «A Computationally Efficient Multipitch Analysis Model», *IEEE Transactions on speech and audio processing*, 8/6, 2000, pp. 708-716.

³²⁹ *Ibid.*

- Alt3: Aplicación de la función *mironssets* para mostrar la curva donde se reflejen los ataques de las alturas (*mironssets(a, 'Attacks')*), utilizando el resultado para la segmentación del audio por medio de la función *mirsegment* (*mirsegment(a, o)*) y este resultado para la detección de las alturas (*mirpitch(sg)*)³³⁰.

Eventos (Eve)

Entendiendo evento como acontecimiento dentro de un flujo de información auditiva³³¹, para la detección de la aparición de estos en el discurso musical se llevan a cabo tres procesos:

- Eve1: La medida de la distancia entre los diferentes *frames* con la función *mirflux* a partir de la curva obtenida de la operación de *autocorrelación* resultado de *mirautocor* (*mirflux(mirautocor(a, 'Frame'))*).
- Eve2: Análisis de las variaciones en la curva de amplitud (*mirrms(a, 'Frame')*).
- Eve3: Detección de los tiempos de ataque de las alturas (*mirattacktime(a, 'Lin')*).

Para estudiar la distribución y comportamiento de los eventos en el tiempo, en primer lugar, se obtiene la envolvente de la señal con *mirenvelope* y se subdivide en *frames* con la función *mirframe*. Al resultado obtenido le aplicamos las siguientes funciones para obtener distinta información:

- Eve4: La dispersión a partir de *mirspread*.
- Eve5: La entropía con *mirentropy*.
- Eve6: La probabilidad de cambio o novedad con *mirnovelty*.
- Eve7: La variación de la periodicidad rítmica con *mirfluctuation*.
- Eve8: Densidad de eventos en el tiempo *mirdensity* (Imagen 10).

³³⁰ Véase Cit. 14

³³¹ Gary Kendall, «What is a event? The event schema, circumstances, metaphor and gist». *Proceedings of the International Computer Music Conference* [en línea], 2008, <<http://www.garykendall.net/papers/KendallICMC2008.pdf>> (Consultado, 20-01-2022).

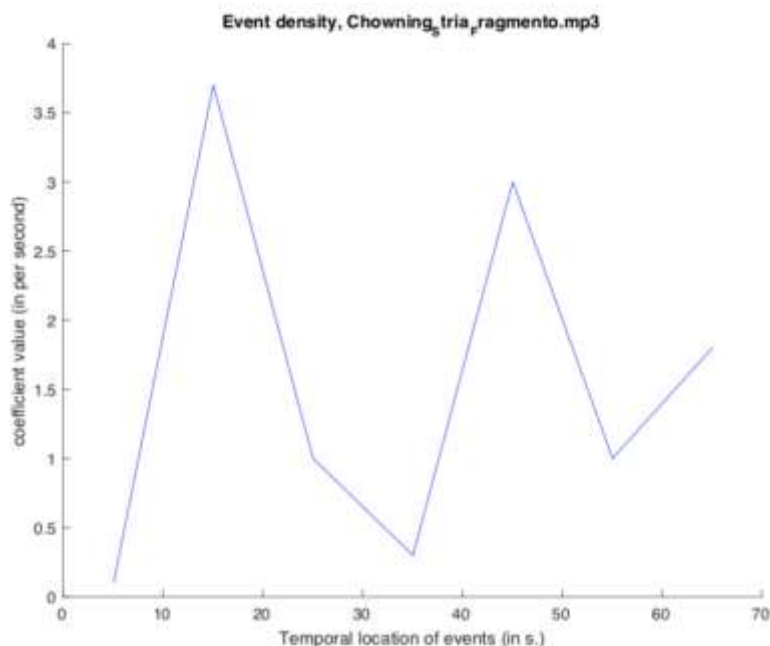


Imagen 10. Eve8 sobre el comienzo de *Stria* (1977) de John Chowning

Tempo (Tem)

- Tem1: La detección del *tempo* estimado de todo el fragmento comienza con el filtrado de la señal con *mirfilterbank*. A las señales resultantes se le extraen las envolventes (*mirenvelope*) y se suman, centrándolas por medio de *mirsum*. A continuación se aplica la función de *autocorrelación*, multiplicando los resultados por la curva de resonancia «Toivianen»³³², (*mirautocor(s, 'Resonance')*). Por último, se detecta los picos del resultado (*mirpeaks*) y se aplica la función que evalúa el de una señal expresada en BPM (*mirtempo*).³³³

La evolución del *tempo* es analizada a través de tres procedimientos. Todas las operaciones tendrán en común el uso de la función *mirtempo* y la descomposición en *frames* de la señal:

³³² Petri Toivianen y Joel S. Snyder, «Tapping to Bach: Resonance-Based Modeling Pulse», *Music Perception*, 21/1, 2003, pp. 43-80.

³³³ Martin F. McKinney, Dirk Moelants, Mathew E. P. Davies y Anssi Klapuri, «Evaluation of Audio Beat Tracking and Music Tempo Extraction Algorithms», *Journal of New Music Research*, 36/1, 2007, pp. 1-16.

- Tem2: Analizando las variaciones espectrales ($mirtempo(a, 'Total', 'Frame', 'Min', 20, 'Spectrum')$) -Imagen 11-.
- Tem3: Midiendo la periodicidad de los eventos en el fragmento ($mirtempo(a, 'Periodicity', 'Frame')$) y representando los valores recurrentes en un histograma ($mirhisto(t)$).
- Tem4: Calculando la claridad del pulso a partir de $mirpulseclarity$, a través de la variante de implementación 'Min' y 'Klapuri99'³³⁴.

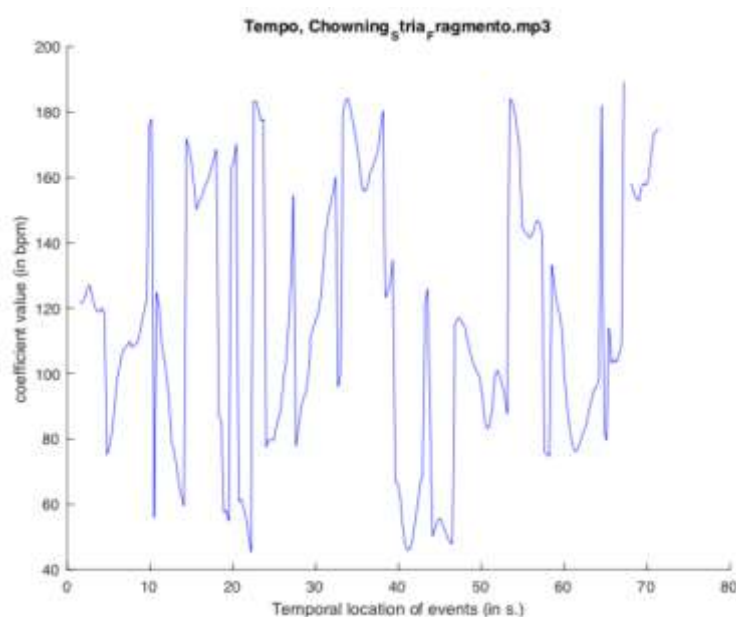


Imagen 11. Tem2 sobre el comienzo de *Stria* (1977) de John Chowning Timbre (Tim)

Para el estudio del timbre se centra el análisis en las cualidades espectrales:

- Tim1: «Brillo», resulta del cálculo de la cantidad de energía presente en las frecuencias agudas ($mirbrightness(a, 'Frame')$). La frecuencia de corte se establece en 1500 Hz.
- Tim2: «Rugosidad», calcula el grado de «disonancia», a partir de la interferencia, producido por los picos de frecuencias cercanas y aplicando la variante «Vassilakis» de la función ($mirroughness(a, 'Vassilakis')$).

³³⁴ Olivier Lartillot, Toumas Eerola, Petri Toivianen y José Fornari, (2008) «Multi-Feature Modeling of Pulse Clarity: Design, Validation, and Optimization», *ISMIR 2008* [en línea] <http://ismir2008.ismir.net/papers/ISMIR2008_145.pdf> (Consultado 20-01-2022).

Para llevar a cabo las siguientes operaciones es necesario, previamente, establecer el espectro de la señal descomponiéndola en *frames*, cuyos valores de *hop factor* y *length window* son, respectivamente, 0.05 y 0.5 s (*mirspectrum(a, 'Frame')*):

- Tim3: Definición del *centroide* espectral (*mircentroid*)
- Tim4: Nivel de dispersión espectral (*mirspread*)
- Tim5: Nivel de regularidad espectral (*mirregularity*)
- Tim6: Nivel de *spectral flatness* (*mirflatness*)
- Tim7: Grado de entropía del espectro (*mirentropy*)

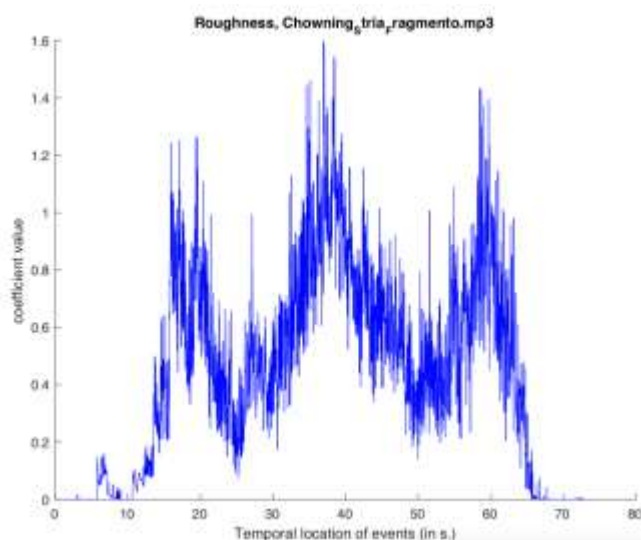


Imagen 12. Tim2 sobre el comienzo de *Stria* (1977) de John Chowning

CONCLUSIONES

La metodología diseñada, así como los procesos analíticos que la componen, aportan una información de carácter cuantitativo que, por tanto, permite realizar análisis comparados a partir de datos objetivos. Esta información también es potencialmente interpretable, lo que la convierte en un punto de partida para un trabajo hermenéutico y no finalizar el proceso analítico en la mera descripción del material sonoro. De esta manera, la información se convierte en relevante por no ser un fin en sí mismo, sino un posible punto de partida.

La metodología permite analizar señales complejas y de duración variable sin desvirtuar el sonido, o dependiendo exclusivamente a la pericia y capacidad de sensorial del analista.

Supone un conjunto de herramientas adecuadas para ser combinadas con otros paradigmas que estén enfocados en otros niveles (niveles poético y estético) del fenómeno musical.

Es necesario realizar una cantidad considerable de análisis aplicando esta metodología, que tengan como objeto de estudio obras de variados estilos y adscritas a diferentes corrientes estéticas, con el fin de realizar una comparativa (metaanálisis) de los resultados que arrojen estas investigaciones y valorar, más adecuadamente, las posibilidades del paradigma con el objetivo de perfeccionarlo y mejorarlo.

BIBLIOGRAFÍA

- BOSSIS, Bruno. «The Analysis of Electroacoustic Music: Form Sources to Invariants». *Organised Sound*, 11/2, 2006, pp. 101-112.
- CAMILLERI, Lelio y SMALLEY, Denis. «The Analysis of Electroacoustic Music: Introduction». *Journal of New Music Research*, 27/ 1-2 (1998), pp. 3-12.
- DAHAN, Kevin. «Electroacoustic Music: Overcoming Analysis Paralysis», en: *Proceedings International Computer Music Conference*. Huddersfield (UK): ICMA, 2011, pp. 523-526.
- EMMERSON, Simon (editor). «The language of electroacoustic music». Londres: MacMillan Press, 1986.
- EMMERSON, Simon y LANDY, Leigh. «The analysis of electroacoustic music, the differing needs of its genres and categories», en: *Proceedings of the Electroacoustic Music Studies Network Conference*. Estocolmo: EMS, 2012, pp. 1-14.
- KLAPURY, Anssi. «Automatic Music Transcription as We Know It Today». *Journal of New Music Research*, 33/3, 2004, pp. 269-282.
- LANDY, Leigh. *Understanding the Art of Sounds*. Cambridge: The MIT Press, 2007.
- LICATA, Thomas (editor). *Electroacoustic Music: Analytical Perspectives*. Westport, CT: Greenwood Press, 2002.
- NATTIEZ, Jean-Jacques. *Music and discourse: Towards a semiology of music*. Nueva Jersey: Princeton University Press, 1990.
- ROY, Stephane. *L'analyse des musiques électroacoustiques: Modèles et propositions*. París: L'Harmattan, Univers Musical, 2003.
- SCHAEFFER, Pierre. *Tratado de objetos musicales*. Madrid: Alianza Editorial, 2003.
- SIMONI, Mary (editor). *Analytical Methods of Electroacoustic Music*. Londres: Taylor and Francis, 2006.
- STROPPA, Marco. «The analysis of electronic music». *Contemporary Music Review*, 1/1, 1984, pp. 175-180.
- WISHART, Trevor. *On Sonic Art*. Amsterdam: Overseas Publishers Association, 1996.