



Universidad Internacional de La Rioja
Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades

Máster Universitario en Composición Musical con Nuevas
Tecnologías

**FORMS: Un sistema compositivo basado
en la síntesis de espectrogramas y
partituras gráficas**

Trabajo fin de estudio presentado por:	Santiago Vilanova i Ángeles
Tipo de trabajo:	Trabajo Fin de Máster
Director:	Dra. Estrella-Zulema de la Cruz Castillejo
Fecha:	20 de Julio de 2021

Resumen

Las obras presentadas en este trabajo son el resultado de un sistema compositivo basado en softwares de elaboración propia, que permiten la creación de obras musicales multimedia y de arte sonoro a partir de la creación algorítmica de imágenes y su posterior sonificación.

Después de un análisis del estado del arte y las referencias históricas relacionadas con esta investigación, se examinan los resultados que ofrece este conjunto de ideas y herramientas desde tres perspectivas muy distintas: en Forms-Screen ensemble, a través de la música puramente acusmática, creando un instrumento autómatamente totalmente autónomo que genera música ininterrumpidamente sin intervención humana; en Forms-String ensemble, hibridando acusmática con un cuarteto de cuerdas en directo y abriendo el campo de acción del sistema compositivo más allá de los espectrogramas y entrando en el territorio de las partituras gráficas, a la par que limitando las decisiones aleatorias del software y cediendo el control compositivo al autor; y en Deshielo, usando la imagen como generadora de ideas compositivas que se materializan posteriormente a través de la escritura "clásica" de pentagramas.

Dada la naturaleza audiovisual de este sistema compositivo, todas estas obras integran tanto una vertiente musical como otra visual, configurándose como piezas de arte digital o conciertos multimedia.

Palabras clave: arte sonoro, algoritmos, partitura gráfica, música visual, Santiago Vilanova

Abstract

The pieces presented in this work are the result of a compositional system based on tailor-made softwares which allow the creation of multimedia musical works and sound art through the algorithmic creation of images and their subsequent sonification.

After an analysis of the state of the art and the historical references related to this research, the results offered by this set of ideas and tools are examined from three very different perspectives: in Forms-Screen ensemble, through purely acousmatic music, creating a totally autonomous automaton instrument that generates music uninterruptedly without human intervention; in Forms-String ensemble, hybridizing acousmatics with a live string quartet and opening the field of action of the compositional system beyond spectrograms and entering the territory of graphic scores, while limiting the random decisions of the software and yielding compositional control to the author; and in Deshielo, using the image as a generator of compositional ideas that materialize later through the "classical" writing of staves.

Given the audiovisual nature of this compositional system, all these works integrate both a musical and a visual aspect, being configured as pieces of digital art or multimedia concerts.

Keywords: sound art, algorithms, graphic score, visual music, Santiago Vilanova

Índice de contenidos

Resumen	2
Abstract	3
1. Introducción	9
2. Justificación y descripción de las obras escogidas	10
2.1. Forms – Screen Ensemble	10
2.2. Forms – String Quartet	10
2.3. Deshielo	10
3. Objeto del trabajo y Autovaloración de las obras presentadas	11
4. Objetivos generales y específicos	12
5. Marco Teórico	13
5.1. Contextos	13
5.1.1. Notación Gráfica	13
5.1.2. Sonificación Espectral	14
5.1.3. Música Visual	15
5.1.4. Arte Procedural y Digital	15
5.2. Aportaciones	16
5.2.1. Unificación audio+visual	16
5.2.3. Algoritmos	17
6. Marco Metodológico (materiales y métodos)	18
6.1. Sobre el método Analítico	18
6.2. El sistema compositivo	18
6.2.1. Espectrogramas generativos	19
6.2.3. Arquitectura de Software	19

a) Sonificación, secuenciación algorítmica y control de red (MAX/MSP)	20
b) Generación Gráfica	20
c) Salida Visual (C++)	20
6.2.4. Algoritmos de Generación Gráfica	21
6.2.4.1 Ritmo	22
6.2.4.2 Armonía y Melodía	23
6.2.4.3 Textura	24
6.2.4.4 Efectos	25
6.2.4.5 Aleatoriedad y probabilidades	27
6.2.5. Mesoestructuras: algoritmos de secuenciación y conducción	27
6.2.5.1. Páginas	27
6.2.5.2. Cadenas de Markov	28
6.2.5.3. Entrelazado Aleatorio	29
6.2.6. Sonificación	29
6.2.6.1. Sonificación Digital con Max/MSP	29
6.2.6.2 Sonificación Humana	31
6.3. Análisis y Defensa: Forms – Screen Ensemble	32
6.3.1 Concepto de la Obra	32
6.3.2. Referentes Artísticos	33
6.3.3. Procesos Compositivos	34
6.3.4. Aspectos formales y estructurales	34
6.3.5. Formalización Física	35
6.4. Análisis y Defensa: Forms – String Quartet	36
6.4.1. Concepto de la Obra	36

6.4.2. Referentes Artísticos	37
6.4.3. Procesos Compositivos	39
6.4.4. Aspectos formales y estructurales	44
6.4.5. Análisis escénico	46
6.5. Análisis y Defensa: Deshielo	47
6.5.1. Concepto de la Obra	47
6.5.2. Procesos Compositivos	48
6.5.3. Aspectos Formales y Estructurales	50
7. Consideraciones finales y conclusiones	51
8. Limitaciones	51
9. Prospectiva	52
10. Referencias Bibliográficas	54
10.1 Artículos y Libros	54
10.2 Partituras y vídeos	55
11. Glosario de términos	56
Anexo A. Portfolio de Obras	57
Anexo B. Documentación extendida sobre el sistema compositivo	57

Índice de figuras

Figura 1. Partitura gráfica de Artikulation, Gyorgi Ligeti.	13
Figura 2. John Cage, Fontana Mix.	14
Figura 3. Iannis Xenakis, Metastaseis.	14
Figura 4. Transformación de imagen en sonido. Aphex Twin.	15
Figura 5. Esquema de la arquitectura de software. Elaboración propia.	19
Figura 6. Código de Javascript. Elaboración propia.	20
Figura 7. Patch de Max/MSP. Elaboración propia.	20
Figura 8. Cuadrícula rítmica y tonal. Elaboración propia.	21
Figura 9. Funcionamiento tonal. Elaboración propia.	21
Figura 10. Funcionamiento de volumen. Elaboración propia.	21
Figura 11. Algoritmo percusivo. Elaboración propia.	22
Figura 12. Algoritmo percusivo. Elaboración propia.	22
Figura 13. Algoritmo percusivo. Elaboración propia.	22
Figura 14. Algoritmo percusivo. Elaboración propia.	22
Figura 15. Algoritmo rítmico. Elaboración propia.	23
Figura 16. Algoritmo rítmico. Elaboración propia.	23
Figura 17. Algoritmo rítmico. Elaboración propia.	23
Figura 18. Algoritmo escalas. Elaboración propia.	23
Figura 19. Algoritmo notas. Elaboración propia.	23
Figura 20. Algoritmo acordes. Elaboración propia.	23
Figura 21. Algoritmo arpeggios. Elaboración propia.	24
Figura 22. Algoritmo glissandi. Elaboración propia.	24
Figura 23. Algoritmo glissandi. Elaboración propia.	24
Figura 24. Algoritmo serie armónica. Elaboración propia.	24
Figura 25. Algoritmo textura. Elaboración propia.	25
Figura 26. Algoritmo textura. Elaboración propia.	25
Figura 27. Algoritmo textura. Elaboración propia.	25
Figura 28. Algoritmo efecto. Elaboración propia.	26
Figura 29. Algoritmo efecto. Elaboración propia.	26
Figura 30. Algoritmo efecto. Elaboración propia.	26
Figura 31. Algoritmo efecto. Elaboración propia.	26
Figura 32. Algoritmo efecto. Elaboración propia.	26
Figura 33. Algoritmo efecto. Elaboración propia.	26
Figura 34. Algoritmo efecto. Elaboración propia.	26
Figura 35. Algoritmo página. Elaboración propia.	28
Figura 36. Cadena de Markov. Elaboración propia.	28
Figura 37. Entrelazado aleatorio. Elaboración propia.	29
Figura 38. Motor de sonificación. Elaboración propia.	30
Figura 39. FORMS – Screen Ensemble. Elaboración propia.	32
Figura 40. El Jardín de las Delicias, Hyeronimus Bosch. Museo del Prado.	33
Figura 41. Despiece de la estructura física de la obra. Elaboración propia.	35
Figura 42. Imagen del concierto FORMS – String Quartet. Elaboración propia.	36

Figura 43. Iannis Xenakis, Phitoprakta	37
Figura 44. UVA, The great Animal Orchestra.	38
Figura 45. Botella y peces, de Georges Bracque	38
Figura 46. Estudios gráficos previos. Elaboración propia.	39
Figura 47. Muestrario de algoritmos gráficos. Elaboración propia.	39
Figura 48. Partitura gráfica completa. Elaboración propia.	40
Figura 49. Ensayo mediante video-partitura. Elaboración propia.	40
Figura 50. Estudio previo de tesituras. Elaboración propia.	41
Figura 51. Leyenda de símbolos. Elaboración propia.	41
Figura 52. Anotaciones tonales. Elaboración propia.	42
Figura 53. Espectrograma acusmático. Elaboración propia.	42
Figura 54. Partitura gráfica. Elaboración propia.	42
Figura 55. Superposición de espectrograma y partitura gráfica	43
Figura 56. Escala Kumoi. Elaboración propia.	43
Figura 57. Estructura de la obra. Elaboración propia.	44
Figura 58. Imagen de la escena. Elaboración propia.	46
Figura 59. Detalles técnicos. Elaboración propia.	46
Figura 60. Bocetos Previos. Elaboración propia.	48
Figura 61. Partitura gráfica previa. Elaboración propia.	48
Figura 62. Notación MIDI. Elaboración propia.	49
Figura 63. Asistente compositivo. Elaboración propia.	49
Figura 64. Re-interpretación gráfica final. Elaboración propia.	50
Figura 65. Estructura de la obra. Elaboración propia.	50

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se analizarán tres obras propias con la idea de mostrar una evolución de un sistema compositivo personal. Se han elegido tres piezas que, a pesar de ser muy diferentes entre sí -tanto en instrumentación como en el acercamiento técnico- comparten el uso de un mismo sistema compositivo basado en la generación algorítmica de imágenes y su transformación en material musical.

Así, se presenta una obra generativa de “computer music” de duración indefinida; una obra para cuarteto de cuerda y cinta electrónica; y una obra para orquesta sinfónica. Estas obras se extienden más allá del territorio exclusivamente musical, proponiendo también la integración de elementos multimedia -escultura, imagen e iluminación-

Los análisis que se realizarán de cada una de las obras se centrarán en diferentes aspectos compositivos y técnicos, con el objetivo de aportar una visión completa de esta manera de componer música a través de la síntesis de imágenes.

Cabe destacar que este es un proyecto transdisciplinario, que abarca campos muy diversos: desde la ingeniería de software y las matemáticas, hasta el diseño gráfico o la escenografía y por supuesto, la composición musical. Así pues, muchas de las referencias y apuntes bibliográficos abarcan campos que no son estrictamente musicales.

El presente documento incluye una gran cantidad de figuras, esquemas e imágenes. A causa de ello, la extensión en páginas del trabajo excede las recomendaciones de UNIR. Aún así, se ha creído conveniente incluir todas estas referencias para una mejor comprensión de la investigación realizada. Con el mismo objetivo, recomendamos encarecidamente la consulta de los distintos hipervínculos a documentos audiovisuales que se van aportando a lo largo del texto y que facilitaran la comprensión de los distintos desarrollos y resultados compositivos.

2. JUSTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS ESCOGIDAS

2.1. FORMS – SCREEN ENSEMBLE

Esta pieza es un dispositivo escultórico musical autogenerativo. Se trata de la primera materialización del proyecto FORMS, y es el punto de partida para los proyectos siguientes.

Se trata de un autómata que propone composiciones de *música visual* (Betancourt, 2018) siempre cambiantes, a partir de un conjunto de reglas de generación de espectrogramas.

Esta obra, por su naturaleza generativa y aleatoria, no tiene una duración definida; las composiciones que genera no se vuelven a repetir jamás, si bien siempre opera dentro de un conjunto de reglas (algoritmos) previamente establecidos.

Link a documentación en vídeo: <https://vimeo.com/464531284>

2.2. FORMS – STRING QUARTET

La segunda pieza que analizaremos será la evolución lógica del proyecto anterior: una obra para cuarteto de cuerda, cinta electrónica y videoproyección panorámica, basada en el mismo tipo de desarrollos de generación gráfica. Para la creación de esta obra, se tuvo que adaptar el tipo de generación gráfica atendiendo a las características de un conjunto de cuerda (tesituras, articulaciones..).

Esta obra, de una duración de 12 minutos, está fijada: las partituras no se crean en tiempo real, sino que han sido pre-seleccionadas por el compositor de entre los cientos de propuestas que el sistema de software ha generado previamente.

Link a documentación en vídeo: <https://vimeo.com/553653358>

2.3. DESHIELO

La última pieza que analizaremos es Deshielo, una obra para conjunto orquestal, cinta electrónica e imagen panorámica, compuesta en el contexto de la asignatura “Proyectos de Composición Instrumental” impartida por la Dra. Estrella Zulema de la Cruz. En esta obra, la estrategia compositiva toma una dirección alternativa respecto a las anteriores, usando la imagen como mera inspiración y parte de la conceptualización previa.

Así pues en esta obra, de una duración de 4:30 minutos, se prescinde de los algoritmos de sonificación de la imagen y se opta por una metodología compositiva “tradicional”, basada en la escritura “manual” de la partitura. No obstante, la imagen también juega un papel central, ya que toda la obra se concibe como un espectáculo multimedia que busca alertar sobre las consecuencias del cambio climático.

Link a documentación en vídeo: <https://youtu.be/zK3WWbs8R-g>

3. OBJETO DEL TRABAJO Y AUTOVALORACIÓN DE LAS OBRAS PRESENTADAS

Así pues, el objeto de este trabajo es el análisis del funcionamiento y las posibilidades compositivas de los sistemas computerizados de creación de espectrogramas y partituras gráficas, todos ellos de elaboración propia, así como de las obras resultantes de la aplicación de estos sistemas. La naturaleza interdisciplinaria del sistema compositivo descrito en este trabajo (que aúna ingeniería de software, diseño gráfico y composición musical) nos sitúa en un escenario ecléctico y contemporáneo.

Las obras resultantes de la aplicación de este sistema compositivo no sólo tienen valor musical, sino que también funcionan como piezas de arte digital y como experimentos de divulgación científica. En este sentido, FORMS también tiene cabida en contextos como festivales de arte digital, museos de la ciencia o tratados sobre diseño gráfico.

4. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

Objetivos Generales

-Implementar un sistema de composición gráfica y sonora que cree música y arte visual. Componer piezas de música visual de distinta naturaleza que exploren la validez artística de este método compositivo.

Objetivos Específicos

- Desarrollar un software de sonificación que permita traducir imagen en sonido.
- Desarrollar una técnica de síntesis visual generativa de espectrogramas. Los espectrogramas resultantes deben ser musicalmente coherentes una vez sonificados mediante el software de sonificación.
- Desarrollar una técnica de síntesis visual generativa de partituras gráficas. Las partituras resultantes deben ser musicalmente coherentes una vez interpretadas por instrumentistas humanos.
- Componer una obra musical acusmática y generativa que explore las posibilidades de las técnicas de síntesis de espectrogramas.
- Componer una obra musical para formación instrumental que explore las posibilidades de las técnicas de síntesis de partituras gráficas.
- Componer una obra musical para orquesta basada en ideas y técnicas de composición visual.
- Explorar las extensiones escenográficas (y en general extra-musicales) que ofrece el sistema desarrollado.

5. MARCO TEÓRICO

El proyecto Forms se relaciona con una serie de marcos teóricos que lo posicionan en un determinado contexto artístico, científico, filosófico y musical. Veamos pues cuales son estos contextos teóricos en los que podemos insertar este conjunto de obras.

5.1. CONTEXTOS

5.1.1. Notación Gráfica

Forms es un sistema heredero de los desarrollos en nuevos sistemas de notación musical gráfica realizados a partir de la segunda mitad del siglo XX. Compositores como Iannis Xenakis, John Cage, Mestres Quadreny, o Karlheinz Stockhausen abrieron todo un abanico de nuevas posibilidades compositivas, abriendo la música a nuevos territorios y liberándola de la rigidez de los pentagramas clásicos.

György Ligeti **Artikulation** Elektronische Musik / Electronic Music
Hörpartitur von Rainer Wehinger

SCHOTT
U.S. Schott & Co. Music, Inc. New York, N.Y. 10017-1000
© 1970

Figura 1: Gyorgi Ligeti. Artikulation. Partitura gráfica de Rainer Wehinger, 1970.

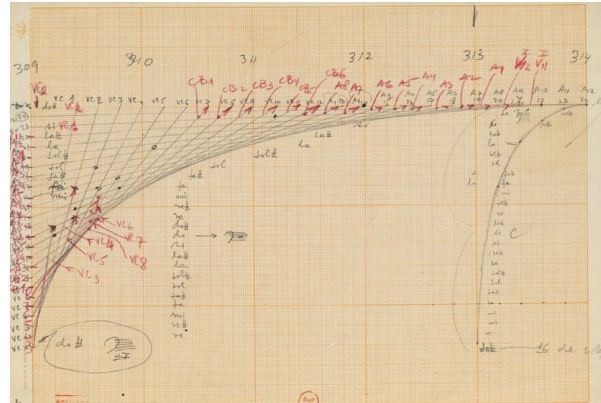
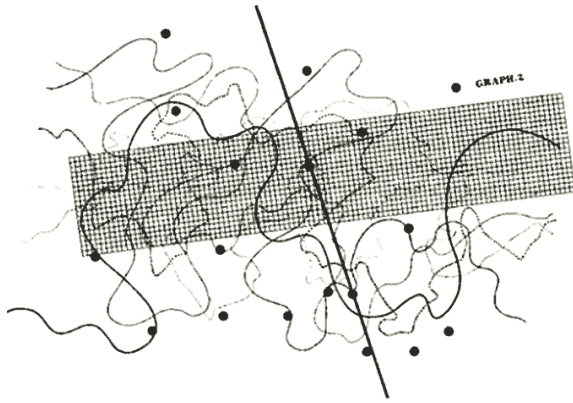


Figura 2: John Cage, *Fontana Mix*. Figura 3: Iannis Xenakis, *Metastaseis*

A día de hoy, toda una corriente de nuevos compositores está explorando las posibilidades expresivas de este tipo de notación. En este sentido, cabe destacar la comunidad organizada alrededor del sello "Score Follower", y que podemos encontrar en Youtube y Discord: https://www.youtube.com/channel/UCsCyncBPEzI6pb_pmALJ9Tw

5.1.2 Sonificación Espectral

El campo de la síntesis sonora integra un tipo de desarrollos vinculados a la manipulación de espectrogramas que están relacionados con la investigación de Forms.

Anclados en un determinado campo de las matemáticas (análisis y re-síntesis mediante los teoremas de Fourier), estos desarrollos comienzan en los años 70 con los primeros sistemas de música por ordenador. Pioneros de este campo de la música electrónica como Iannis Xenakis colaboran en el desarrollo de los primeros sistemas de lectura y manipulación de espectrogramas.

A día de hoy, unos pocos softwares como Kyma, Metasynth o VirtualANS permiten "dibujar" directamente sobre los espectrogramas o aplicar manipulaciones visuales que tienen un impacto directo sobre el sonido.

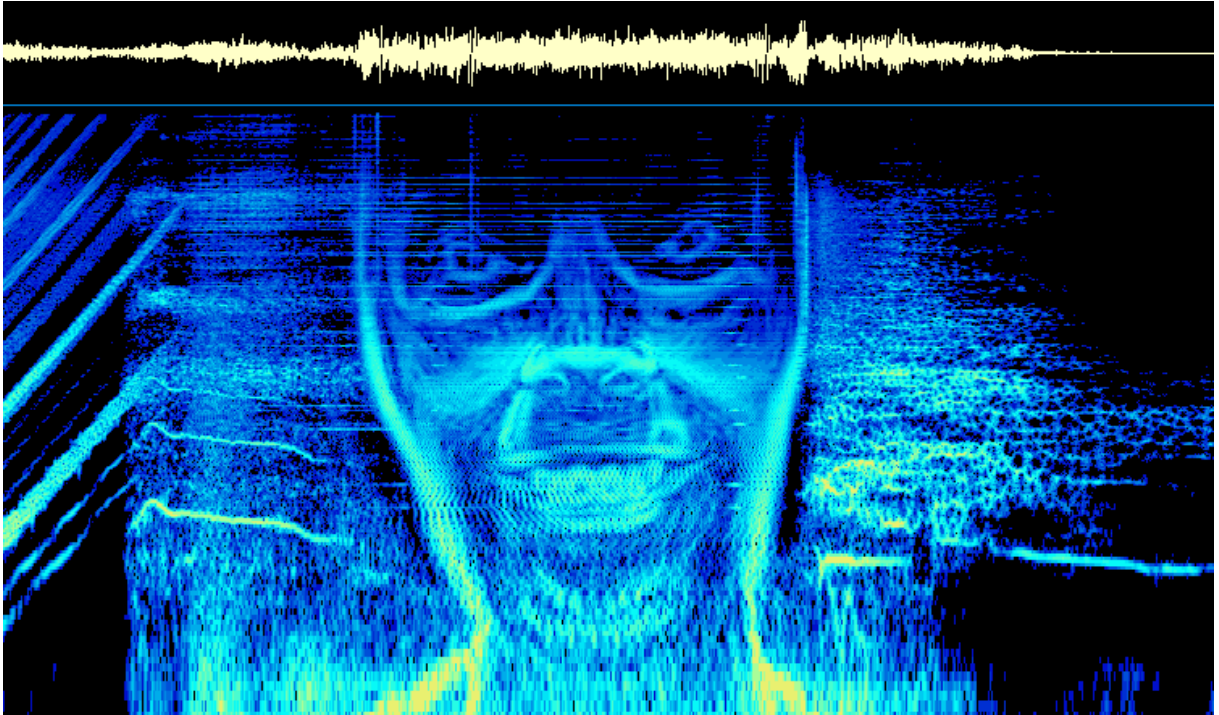


Figura 4: Un ejemplo de transformación de imagen en sonido mediante el software MetaSynth. Obra musical de Aphex Twin.

5.1.3. Música Visual

La investigación de **Forms** no es sólo sonora. La creación de las imágenes es un 50% del proyecto, definiendo esta obra como un trabajo audio+visual. En este sentido, el campo de lo que se ha denominado como "música visual", y en especial los trabajos de los pioneros del cine de animación experimental del siglo XX han sido especialmente interesantes como fuente de inspiración. En muchos casos se trató de artistas provenientes del arte pictórico de las vanguardias, fascinados por las posibilidades del nuevo lenguaje cinematográfico y de la relación entre la música y el dibujo. Este espíritu innovador de los pioneros del arte audiovisual los lleva no sólo a crear obras de gran calidad artística, sino también a desarrollar una serie de aparatos de "síntesis óptica" que han sido muy inspiradores en el contexto de esta investigación.

5.1.4. Arte Procedural y Digital

El campo del arte procedural, tanto en su vertiente analógica como digital está relacionado con las características de la investigación de Forms.

Por un lado, pioneros del arte conceptual y abstracto como Sol Lewitt, Julio Le Parc o Víctor Vasarely generaron todo un corpus de metodologías y resultados pictóricos basados en la definición de instrucciones -entendidas como secuencias de pasos a seguir- que, con un cierto componente azaroso, daban lugar a obras visuales de gran calidad.

Por otro lado, artistas digitales contemporáneos continúan explorando la proceduralidad mediante el "creative coding", desarrollando sus herramientas para la creación gráfica y sonora. Referentes de este campo como Ryoji Ikeda, Carsten Nicolai, Zachary Liebermann o Alba G. Corral están, hoy en día, estableciendo los umbrales de calidad artística e innovación a los que se ha prestado atención a lo largo de esta investigación.

5.2. APORTACIONES

5.2.1. Unificación audio+visual

Forms integra la música y el arte visual en una única materia unificada. No se trata de partituras "simbólicas", escritas en un lenguaje "secreto". Los espectrogramas que sintetiza Forms son, literalmente, la música.

Forms se aleja de la idea "romántica" del arte, y presenta un tipo de obra audiovisual fundamentada en una serie de conocimientos científicos que dan lugar a una representación "objetiva" del sonido. Sin embargo, se procura que la materia visual / sonora cumpla unos mínimos de calidad estética (tanto desde el punto de vista de la composición visual, del cromatismo y del dibujo, como en cuanto a los resultados sonoros -timbre, tonalidad, ritmo- de estos dibujos).

La esencialidad del planteamiento de este proyecto favorece su evolución en múltiples formatos. Se trata de un nuevo lenguaje audiovisual, una nueva manera de componer imágenes y sonidos de manera unificada, que da como resultado composiciones de música

visual de gran atractivo estético. Es, en cierto modo, el sueño de Kandinski: un lenguaje pictórico-sonoro que no diferencia entre ver y escuchar, y donde cada figura geométrica, cada línea y cada punto puede ser interpretado tanto para la vista como para el oído.

Este nuevo lenguaje, pues, puede aplicarse a múltiples formatos (un concierto, una instalación, un autómata de música generativa) sin perder su característica genuina: la capacidad de unificar música y arte visual en una única materia compacta.

5.2.3. Algoritmos

En la génesis de **Forms** encontramos una serie de desarrollos del campo de las matemáticas y de la programación informática. La implementación de esta herramienta de software se ha hecho mediante el lenguaje de programación Processing -para la generación gráfica de espectrogramas y partituras gráficas- y Max/MSP -para la sonificación digital de los espectrogramas resultantes-.

Para crear dibujos tonal y rítmicamente coherentes, se ha trabajado con un emparrillado matemático del lienzo visual. Esta parrilla establece una serie de divisiones horizontales (que definen los puntos tonalmente relevantes) y una serie de divisiones verticales (que definen los puntos rítmicamente relevantes). Con el objetivo de crear composiciones visuales que "suenen bien", se han establecido una serie de reglas de dibujo respecto al posicionamiento, el espaciado y la escala de las figuras geométricas en relación a esta parrilla: los dibujos situados en la parte superior de la imagen sonarán más agudos y los de la parte inferior más graves; la distribución equiespaciada de elementos gráficos en el eje horizontal producirá una pulsación rítmica periódica.... Etc.

A partir de estas reglas "elementales", se han ido extendiendo los conjuntos de instrucciones de dibujo, que permiten crear composiciones de una u otra naturaleza según la densidad, posicionamiento y características geométricas de los elementos dibujados.

Por otra parte, el sistema de sonificación digital que se ha prototipado se fundamenta en el análisis de la luminancia de columnas de píxeles. Cada columna está formada, en una imagen de alta resolución, por 1080 píxeles. Cada uno de estos píxeles es analizado a nivel de brillo, y modula los volúmenes individuales de un banco de 1080 osciladores sinusoidales. Este tipo de sonificación se llama "sonificación espectral", y es un tipo de síntesis sonora aditiva, relacionada con las aportaciones de Fourier.

6. MARCO METODOLÓGICO (MATERIALES Y MÉTODOS)

6.1. SOBRE EL MÉTODO ANALÍTICO

Para el análisis de las obras se ha decidido optar por una estrategia poco ortodoxa. Dada la naturaleza transdisciplinaria de las obras, cada una de ellas será analizada siguiendo distintas metodologías.

En primer lugar, y antes de empezar con el análisis de las obras, empezaremos describiendo en detalle el sistema compositivo y los algoritmos que lo configuran.

A continuación, para la primera obra “FORMS - Screen Ensemble”, analizaremos los elementos particulares que gobiernan la generación musical y visual de este autómata, atendiendo a los parámetros musicales y tímbricos y a su estrecha relación con las texturas gráficas, así como al resto de elementos extra-musicales que lo definen.

Para la segunda obra “FORMS - String Quartet”, podremos centrarnos en el análisis de la partitura gráfica que sirve de mapa para la interpretación del cuarteto de cuerda, así como en los espectrogramas sintéticos que dan lugar a la capa acusmática de la obra. También nos fijaremos en la propuesta escénica, pues forma parte inseparable de la concepción del proyecto musical.

Para la tercera obra, “Deshielo”, veremos los bocetos iniciales que dan lugar a la obra; analizaremos partes de la partitura orquestal y nos fijaremos en las posibilidades futuras que tiene esta pieza musical como parte fundamental de un futuro concierto multimedia.

6.2. EL SISTEMA COMPOSITIVO

En primer lugar, antes de entrar a los análisis de cada una de las piezas musicales, vamos a describir su sistema compositivo común. Este sistema compositivo implica la generación gráfica y sonificación de espectrogramas a través de un conjunto de herramientas de software creadas por el propio compositor. Veamos en detalle, pues, los distintos elementos que forman este sistema compositivo.

6.2.1 Espectrogramas generativos

Todos los derivados del proyecto FORMS tienen en común el uso de espectrogramas generativos -y por extensión, partituras generativas- como el origen de las composiciones musicales.

Con “generativa” nos referimos a una estrategia de creación fundamentada en un sistema de reglas, y en la que los factores estocásticos juegan un papel determinante. La aleatoriedad guía determinadas decisiones, y favorece la creación de piezas musicales con infinitas variaciones posibles.

En el caso de FORMS y sus proyectos derivados, estas reglas de generación musical se aplican de forma gráfica. Es decir, en lugar de crear un pentagrama o una secuencia MIDI, el sistema FORMS crea un espectrograma (en el caso de música acusmática) o una partitura gráfica (en el caso de música instrumental) que más tarde puede ser “sonificada” mediante medios digitales o por la interpretación humana.

6.2.3. Arquitectura de Software

A nivel de software, se ha hecho un esfuerzo por integrar y desarrollar una serie de aplicaciones que realizan tareas especializadas y que se comunican entre sí siguiendo este esquema:

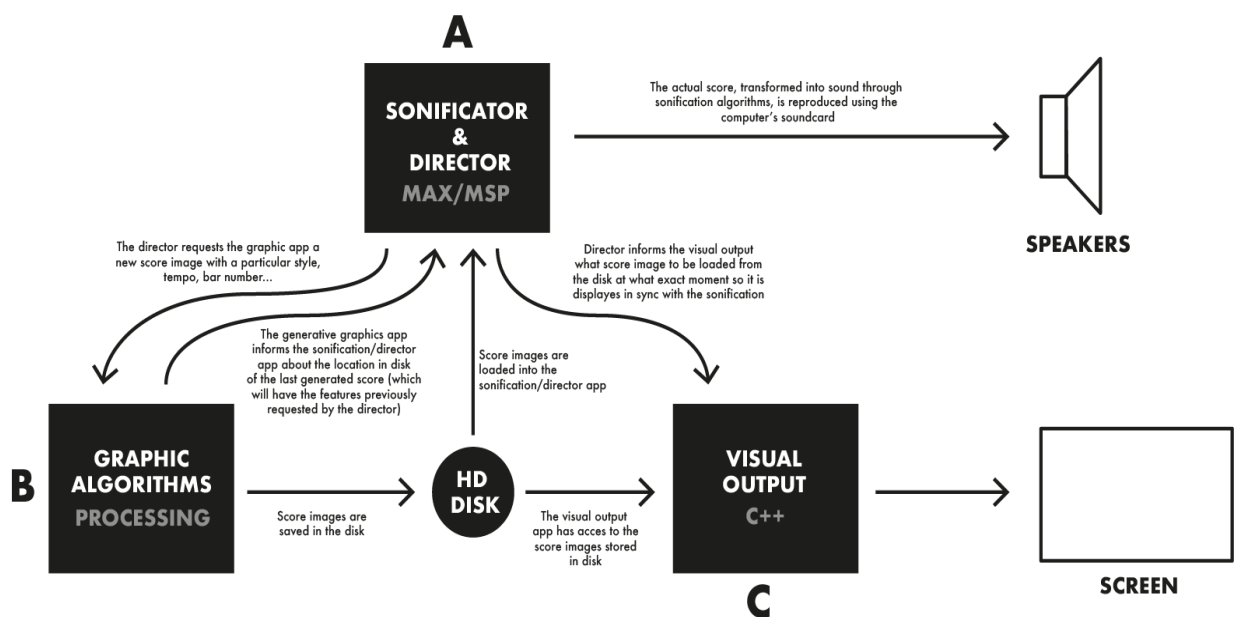


Figura 5: Esquema que muestra la comunicación entre los distintos elementos de software y hardware del sistema Forms. Elaboración propia.

A) Sonificación, secuenciación algorítmica y control de red (MAX/MSP)


El motor de sonificación no solo transforma en sonido las imágenes que recibe de la aplicación de generación de gráficos, sino que también "solicita" imágenes de unas características u otras. Esta aplicación también se encarga de definir el tempo al que se reproducen las composiciones y se comunica con la última aplicación, la de Salida Visual, especificando la página a visualizar, a qué velocidad, etc. Este patch es, en cierto modo, el "director" de la orquesta.

B) Generación Gráfica

Esta es la aplicación que "dibuja" las composiciones página por página. Desarrollado en Processing, ha sido compilada para ejecutarse tanto en plataformas Windows como OSX.

C) Salida Visual (C++)

Esta aplicación, programada mediante librerías OpenFrameworks con lenguaje C ++, realiza una tarea sencilla: recibe comandos del "director", muestra en pantalla las imágenes requeridas y las mueve al tempo definido. También muestra el cabezal de reproducción.



```

277 //viola
278 strokeWeight(2);
279 stroke(0,255,255);
280 line(0,height-(noteh*viola1),width,height-
281 line(0,height-(noteh*viola2),width,height-
282 line(0,height-(noteh*viola3),width,height-
283 line(0,height-(noteh*viola4),width,height-
284
285 noStroke();
286 fill(0,255,128,50);
287 rect(0,height-(noteh*viola1),width,-noteh-
288 fill(0,255,164,50);
289 rect(0,height-(noteh*viola2),width,-noteh-
290 fill(0,255,192,50);
291 rect(0,height-(noteh*viola3),width,-noteh-
292 fill(0,255,255,50);
293 rect(0,height-(noteh*viola4),width,-noteh-
294
295 //cello
296 strokeWeight(2);
  
```

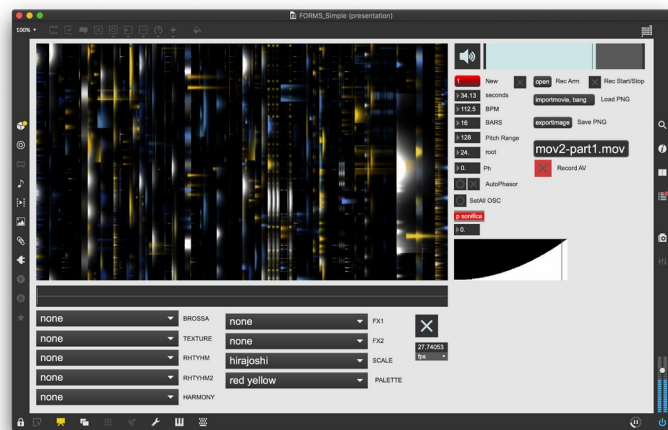


Figura 5 (izquierda): Vista del código en Javascript que gobierna la generación gráfica. Elaboración propia.

Figura 6 (derecha): Vista de la interfaz de sonificación de MAX/MSP. Elaboración propia.

6.2.4. Algoritmos de Generación Gráfica

El grueso de esta investigación ha consistido en el desarrollo de una serie de algoritmos con los que, gracias a la cuantificación de todos los elementos gráficos a una cuadrícula horizontal (tonal) y vertical (rítmica), entregan dibujos que “suenan bien”.

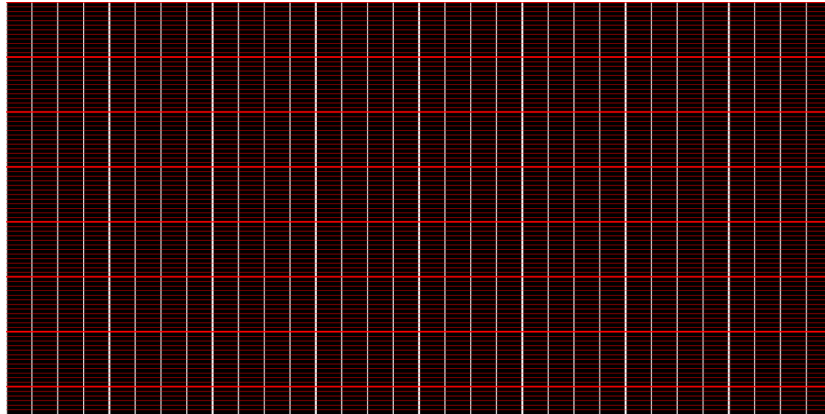
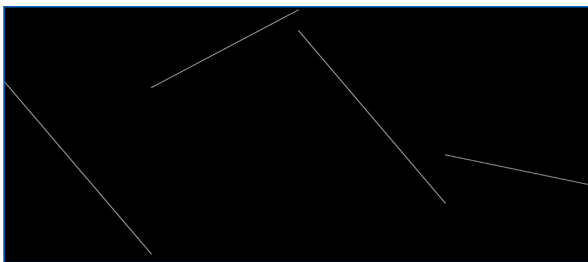


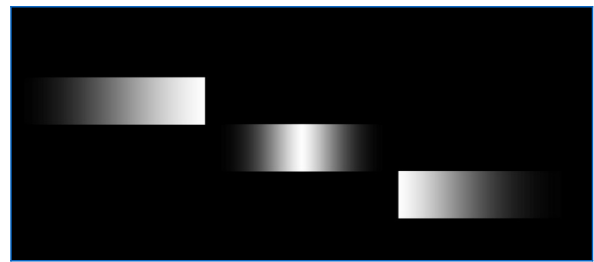
Figura 7: Imagen de la cuadrícula rítmica y tonal, base de los dibujos sonoros. Elaboración propia.

Así, si dibujamos líneas diagonales, tendremos progresiones tonales ascendentes o descendentes.

Un degradado en el brillo de los dibujos indicaría una progresión de volumen. En este caso, al dibujar una figura de considerable grosor, ya no escuchamos un solo tono, sino que escuchamos una suma de tonos formando un grupo de frecuencias.



<https://youtu.be/CZvU9P3DRNE>



https://youtu.be/WX1ER_LWajc

Figuras 8 y 9: links a dos ejemplos básicos del funcionamiento tonal (izquierda) y de volumen (derecha). Elaboración propia.

A partir de estas reglas básicas se han creado una miríada de algoritmos audiovisuales, agrupados en 4 familias que vamos a analizar a continuación: Ritmo; Armonía / melodía; Textura; Efectos.

6.2.4.1 Ritmo

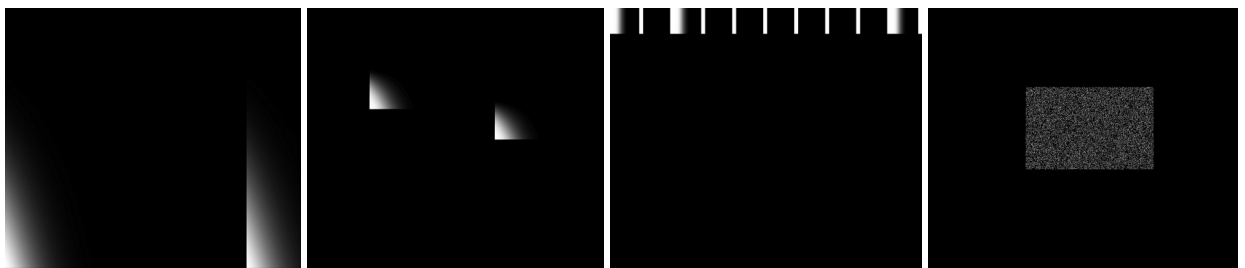
Una serie de algoritmos de generación de timbres de percusión y la secuenciación de estos golpes a lo largo del tiempo son la masa madre para la creación de progresiones rítmicas.

Kick Drums: Con este algoritmo recreamos el sonido de un tambor. A través de una figura geométrica con un fuerte ataque al inicio y un gradiente progresivo más amplio en las partes inferiores, recreamos su comportamiento frecuencial.

Caja: para crear un sonido de caja, usamos la misma estrategia de gradiente que con el bombo, pero en un rango de frecuencia más estrecho y agudo.

Platos: las líneas verticales que suelen colocarse en la parte superior de la imagen generan sonidos atonales de masa frecuencial aguda que recrean el sonido de un platillo. Dependiendo del ancho de estas líneas y su gradiente final, obtendremos platos abiertos o cerrados. Sin embargo, los platos son flexibles en términos de la funcionalidad que realizan y pueden actuar de muchas formas diferentes dentro del conjunto rítmico.

Bloques de ruido: este elemento actúa como un objeto rítmico, pero con una articulación rígida y libertad de rango de frecuencia. Es un "cuadrado" texturizado con ruido tipo "nieve", y se convierte en un elemento que se mueve a medio camino entre el ritmo y la textura.



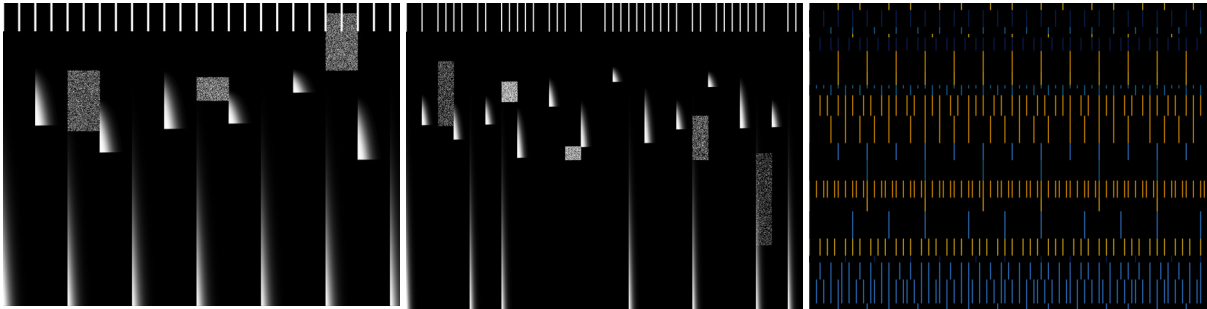
<https://youtu.be/UGaYzXrel-Y> <https://youtu.be/82br6rLmfME> <https://youtu.be/CiC0VgNq2Y8> <https://youtu.be/YVGQltmx0Ts>

Figuras 10, 11, 12, 13: links a ejemplos básicos del funcionamiento de los algoritmos para timbres percusivos. Elaboración propia.

Ritmos periódicos: Todos los sonidos descritos anteriormente se pueden secuenciar periódicamente, siguiendo compases musicales.

Ritmos probabilísticos: Para agregar algo de sabor a los resultados, podemos definir una probabilidad de existencia para cada golpe individual dentro del conjunto periódico.

Ritmos euclidianos: este algoritmo cumple una función de secuenciación, más que de generación de timbres. El algoritmo de Euclides (Gómez-Martín et al., 2009) nos permite crear ritmos con el espaciado más uniforme posible, dada una cuadrícula y una cantidad de golpes para rellenarla.



<https://youtu.be/z1mrzKHoflU>

<https://youtu.be/tm5vNDGPqkU>

<https://youtu.be/ZySp6FC3Zgw>

Figuras 14, 15, 16: links a ejemplos básicos del funcionamiento de los algoritmos rítmicos. Elaboración propia.

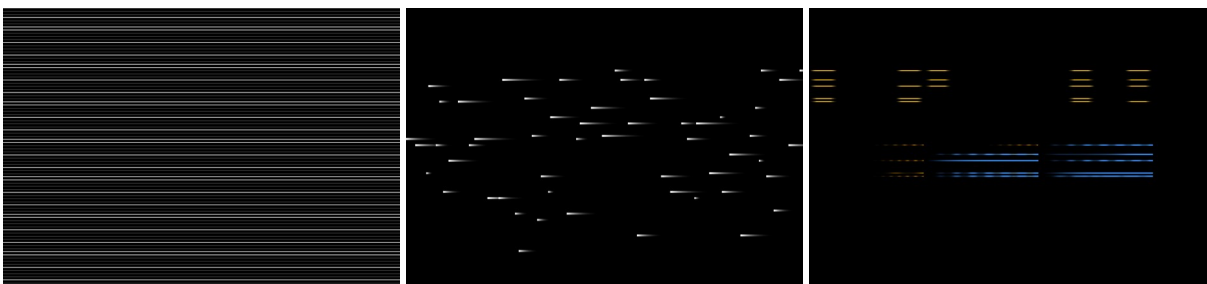
6.2.4.2. Armonía y Melodía

Un conjunto de funciones matemáticas permite crear notas afinadas y progresiones melódicas y armónicas. Veamos sus algoritmos constitutivos.

Escalas: Para permitir la creación de armonías y melodías coherentes, se ha ampliado la cuadrícula tonal básica con escalas. De esta forma, las notas se pueden cuantificar para que solo se dibujen en las coordenadas de, por ejemplo, la escala menor o la mixolidia.

Notas: Podemos crear sonidos tonales ajustando el tono del dibujo a la cuadrícula de tonos y escalas. Una línea horizontal creará un tono estable.

Acordes: Si apilamos 3 o más notas, siguiendo la cuantización de la cuadrícula tonal, podemos crear acordes y progresiones de acordes.



https://youtu.be/MQy4YA_dH5o

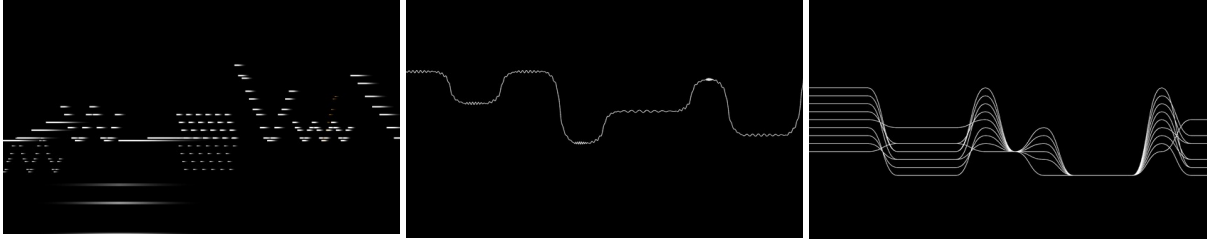
<https://youtu.be/felbXv9ACwk>

<https://youtu.be/idmxSf9KHBo>

Figuras 17, 18, 19: links a ejemplos básicos del funcionamiento de los algoritmos de escalas, notas y acordes. Elaboración propia.

Arpeggios: los algoritmos de arpeggio permiten secuenciar notas en un estilo de arpeggio.

Glissandos: Con este algoritmo, podemos crear progresiones continuas que suben o bajan, pero siempre partiendo y alcanzando coordenadas tonalmente coherentes. Este algoritmo se ha basado en las descripciones del compositor y matemático Iannis Xenakis.



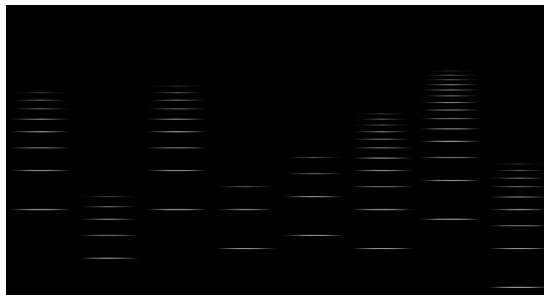
<https://youtu.be/BfgcYel8GIw>

<https://youtu.be/kq2TZ2zrJpg>

<https://youtu.be/omJdABzmrJM>

Figuras 20, 21, 22: links a ejemplos básicos del funcionamiento de los algoritmos de arpeggios y glissandos. Elaboración propia.

Serie armónica: Con el fin de crear timbres de mayor riqueza y complejidad, se ha implementado un algoritmo que calcula la serie armónica de un tono base. Así, cualquier progresión de notas o acordes se puede enriquecer con el apilamiento de parciales de la serie armónica.



<https://youtu.be/-qt03EDAe7E>

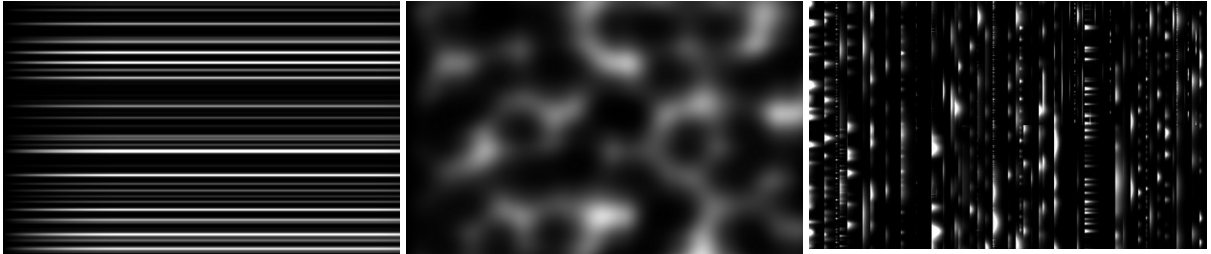
Figura 23: link a ejemplo básico del funcionamiento del algoritmo de serie armónica. Elaboración propia.

6.2.4.3. Textura

Ruido 1D: los algoritmos de ruido unidimensional nos ayudan a generar huellas espectrales únicas, que generan ruidos con sonidos de una variedad prácticamente infinita. Basadas en funciones matemáticas llamadas Perlin Noise, estas características se han integrado para crear texturas de sonido inquietantes pero estáticas a lo largo del tiempo.

Ruido 2D: Al agregar la segunda dimensión al ruido, obtenemos texturas de ruido que no sólo definen un contenido espectral, sino que también evolucionan con el tiempo. Curiosamente, el aspecto resultante de este algoritmo es muy similar a las nubes.

Tanto el Ruido 1D como 2D tienen muchas otras aplicaciones más allá de la generación de texturas de ruido, ya que pueden convertirse en el contenido tímbrico de sonidos de percusión (modulando su rango tonal a lo largo del tiempo) o controlar las evoluciones de volumen de notas o acordes, por ejemplo.



<https://youtu.be/fobcrkuW8ps>

<https://youtu.be/Qe9A07-vHM0>

<https://youtu.be/FSEEPpwYYrg>

Figuras 24,25,26: links a ejemplos básicos del funcionamiento de los algoritmos de textura. Elaboración propia.

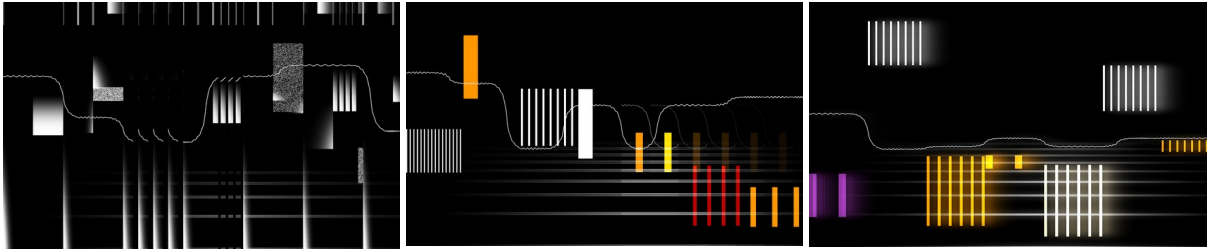
6.2.4.5. Efectos

Con el fin de agregar una nueva capa de complejidad a las composiciones resultantes de la combinación y secuenciación de los algoritmos anteriores, se han creado una serie de efectos que operan sobre las imágenes resultantes. Estos efectos, comparables en funcionalidad a un filtro "photoshop", manipulan los píxeles de la imagen de una manera consistente con las reglas rítmicas y armónicas.

Beat-Repeat: el efecto beat-repeat consiste en repetir secuencialmente un fragmento vertical de la imagen de una manera consistente con la cuadrícula de tiempo.

Eco: similar al Beat-Repeat, el efecto de eco repite un fragmento vertical de la imagen, pero superponiéndolo al contenido original. Además, el brillo de cada nueva repetición se desvanece gradualmente, lo que hace que el sonido también se desvanezca.

Reverberación: se puede crear un efecto de reverberación a partir del efecto de eco. Si el tiempo de repetición es bajo, y cada nueva copia, además de disminuir en brillo, aumenta el desenfoque, se genera la percepción de que la fuente de sonido está ubicada en un gran espacio cerrado.



<https://youtu.be/ESraIVSJPrM>

<https://youtu.be/5cqHiLh-LT0>

https://youtu.be/sKg_xf4HNlq

Figuras 27, 28, 29: links a ejemplos básicos del funcionamiento de los algoritmos de beat-repeat, eco y reverberación. Elaboración propia.

Transposición: al mover una tira de la imagen en vertical, la transponemos. Cuanto mayor sea la distancia desde la posición original, mayor será el intervalo de transposición.

Puerta: el efecto Puerta elimina una franja vertical de la imagen y la reemplaza por una franja negra del mismo tamaño. El efecto de esto es el del silencio. Al secuenciar rítmicamente este efecto, se obtienen resultados muy interesantes. De hecho, una serie de parámetros permiten que el efecto actúe con varias envolventes (modelos de gradiente) que provocarán silencios repentinos o progresivos, con efectos de fundido de entrada o salida.

Congelación: el efecto de congelación nos permite congelar el contenido espectral por un momento y alargarlo tanto como queramos. Visualmente se traduce como un alargamiento horizontal de una columna de píxeles, provocando una franja de líneas paralelas.



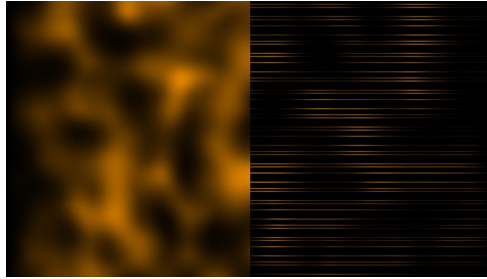
<https://youtu.be/8QyoprNsuEQ>

<https://youtu.be/7XBntv9ZwwQ>

<https://youtu.be/CTaNcKIHULs>

Figuras 30, 31, 32: links a ejemplos básicos del funcionamiento de los algoritmos de transposición, puerta y congelación. Elaboración propia.

Máscara tonal: Para "afinar" texturas o ritmos, se ha creado un efecto que elimina todas las frecuencias que no forman parte de la escala actual. Para eliminar estas frecuencias, se dibujan franjas negras horizontales en aquellas partes de la cuadrícula que no están ocupadas por las notas de la escala con la que se trabaja.



https://youtu.be/kp3BFAiD_14

Figura 33: link a ejemplo básico del funcionamiento del algoritmo de máscara tonal. Elaboración propia.

6.2.4.6. Aleatoriedad y probabilidades.

Todos y cada uno de los algoritmos de composición gráficos descritos anteriormente incorporan la aleatoriedad y las probabilidades de una manera u otra. Así, cada vez que se genera un nuevo espectrograma será diferente al anterior, dando sentido a la idea de “generatividad” que define el proyecto.

6.2.5. Mesoestructuras: algoritmos de secuenciación y conducción.

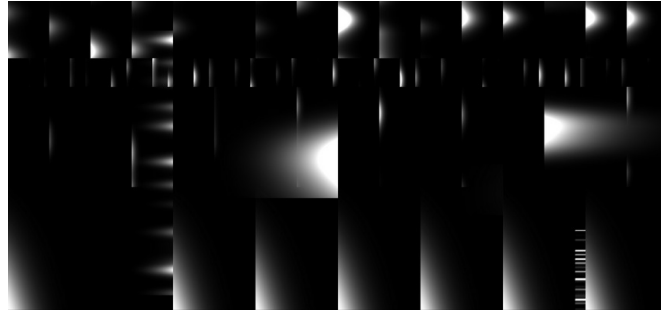
También se ha trabajado en el desarrollo de algoritmos de secuenciación temporal. Estos algoritmos se han desarrollado en MAX / MSP.

6.2.5.1. Páginas.

Un primer paso hacia la estructuración de las composiciones ha consistido en desarrollar generadores de células meso-estructurales que, por ejemplo, ordenen elementos de percusión a lo largo del tiempo para crear un ritmo; o ordenar notas para crear un arpeggio.

Así, estos algoritmos de nivel superior son capaces de crear páginas que podríamos llamar “ritmo hip-hop”, “arpeggios estilo JS Bach”, “Polyphonic Glissandos” o “Dub” ...

Gracias a la aleatoriedad y las distribuciones de probabilidad, cada una de estas páginas tiene una variabilidad infinita y la misma composición nunca se volverá a repetir.



https://youtu.be/9iwPrNOJ_10

Figura 34: link a ejemplo básico de página completa. Elaboración propia.

En otras ocasiones, nos gustaría que la estrategia de creación de páginas tuviera un mayor nivel de aleatoriedad, dejando que el sistema decida qué elementos utilizar o no en función de una lista predefinida de posibilidades. De esta forma, los resultados son mucho menos predecibles y, aunque quizás menos agradables al oído, más flexibles y visualmente variados.

6.2.5.2. Cadenas de Markov

Una vez que tenemos páginas separadas, necesitamos vincular una página a la siguiente, para asegurar la continuidad en el nivel macroestructural. A través de la implementación de un algoritmo que nos permite definir y gestionar cadenas de probabilidad, hemos podido lograr un tipo de estructuras musicales más evolutivas y menos caóticas.

Desarrolladas en el entorno MAX / MSP, las cadenas de Markov nos permiten definir la probabilidad de que, por ejemplo, se genere una página de hip-hop si actualmente estamos ejecutando un ritmo de bolero. El sistema decidirá qué tipo de página es la más apropiada para crear si actualmente estamos en un estado X.

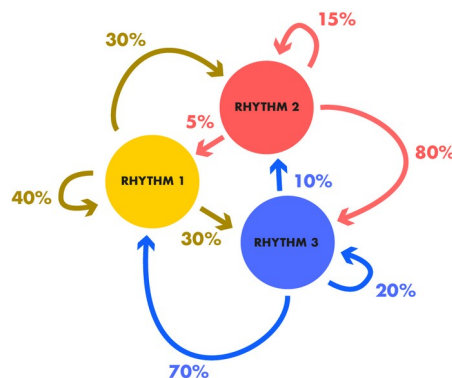


Figura 35: Un ejemplo de saltos usando cadenas de probabilidad, aplicado a 3 ritmos. Elaboración propia.

6.2.5.3 Entrelazado Aleatorio.

Otro sistema de secuenciación alternativo a las cadenas de Markov que se ha desarrollado en Max / MSP es el entrelazado aleatorio.

Dado que las composiciones se han dividido en capas (generalmente 3: ritmo, armonía, textura), se ha creado un sistema que cuando se genera una nueva página mantiene una de las capas de la página anterior, variando solo las capas restantes. De esta forma, siempre hay un vínculo entre páginas, asegurando la continuidad por un lado y la evolución por otro.

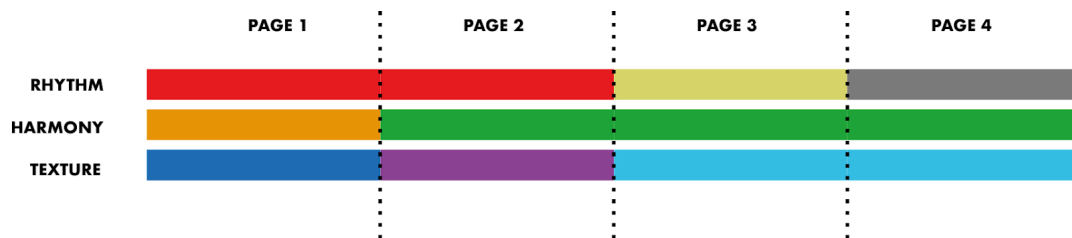


Figura 36: Entrelazamiento aleatorio de ritmos, armonías y melodías. Cada color representa un patrón nuevo en cada una de estas categorías. Elaboración propia.

6.2.6. Sonificación.

Las imágenes generadas siguiendo los procesos descritos anteriormente pueden pasar por dos filtros de sonificación: Digital a través de MAX/MSP; o Humana, efectuada por intérpretes instrumentales.

6.2.6.1 Sonificación Digital con Max/MSP.

Como se ha explicado anteriormente, una de las piedras angulares del proyecto FORMS es el motor de sonificación desarrollado en MAX/MSP. Así pues, un patch de Max/MSP se encarga de transformar la imagen en sonido.

Un cabezal de lectura lee los espectrogramas de izquierda a derecha, en un tiempo definible según el usuario, y vinculado con tempos musicales.

Dado que las imágenes se generan con una resolución vertical de 1080 píxeles, en Max se ha integrado un banco de 1080 osciladores senoidales, con frecuencias de entre 40 y 12000 hz.

6.2.6.2 Sonificación Humana.

En otras ocasiones, nos interesa que la sonificación sea ejecutada por intérpretes humanos. En este caso, la generación y selección de imágenes deberá atender a las especificidades del instrumento (tesitura, articulaciones..), así como a las limitaciones propias de la interpretación humana. Ya no se tratará, pues, de espectrogramas en el sentido estricto, sino de partituras gráficas con un cierto nivel de simbolismo que los intérpretes deben decodificar.

Más adelante veremos en detalle algunas de estas especificaciones, en el análisis de la obra FORMS - String Quartet.

6.3. ANÁLISIS Y DEFENSA: FORMS – SCREEN ENSEMBLE

6.3.1 Concepto de la Obra



Figura 38: Imagen de la obra FORMS – Screen Ensemble. Elaboración propia.

<https://vimeo.com/464531284>

Forms - Screen Ensemble es a la vez un tríptico pictórico y un trío musical. Concebida como un instrumento -una "escultura sonora" si se quiere-, la intención detrás de la creación de esta obra es la de materializar los algoritmos de generación musical descritos anteriormente en un formato de instrumento autómatas, que sea capaz de generar música por sí mismo. Así pues, esta obra es capaz de crear música acusmática, interpretando un conjunto de reglas armónicas, rítmicas y texturales materializadas en forma de espectrogramas visuales que sirven como "partituras" a los algoritmos de sonificación embebidos en el cerebro electrónico de este dispositivo.

El instrumento está dividido en 3 grandes "pantallas". Cada una de ellas interpreta un rol musical diferente, a saber: Ritmo, Armonía y Textura. La música visual generada por cada una de estas pantallas está perfectamente sincronizada con las demás, dando lugar a composiciones sincrónicamente coherentes. La naturaleza generativa y basada en la aleatoriedad de la obra provoca que las secuencias musicales producidas no vuelvan a repetirse jamás, por lo que la duración temporal de la composición es virtualmente infinita.

Esta obra fue presentada por primera vez en el museo Arts Santa Mónica de Barcelona en Septiembre de 2020, como parte de la exposición global "Ars Electrónica Gardens". Esta exposición fue organizada por la institución más veterana del mundo del arte electrónico, el festival "Ars Electronica" de Linz (Austria), que debido a la pandemia no pudo celebrar su edición anual del festival y en su lugar celebró esta edición deslocalizada en las ciudades europeas más relevantes en el contexto del arte digital y electrónico. La producción de la obra fue posible gracias a una beca de investigación artística otorgada por el Institut Ramon Llull, New Art Foundation y Hangar, así como de una beca del departamento de Cultura de la Generalitat de Catalunya. En mayo de 2021 la obra fue adquirida por la colección Beep de Arte Contemporáneo.

6.3.2. Referentes Artísticos

Además de los referentes artísticos ya mencionados previamente en el análisis del sistema compositivo, esta obra cuenta con algunos referentes propios.

Por un lado, los trípticos pictóricos clásicos, como el Jardín de las delicias de El Bosco:



Figura 39: "El Jardín de las Delicias", de Hieronymus Bosch. Museo del Prado.

A nivel sonoro, aunque los resultados musicales y tímbricos de la obra son muy dispares dada la extensión de las posibilidades que ofrecen los algoritmos que la gobiernan, existen algunos referentes que cabría mencionar:

-*Autechre*, el dúo de computer music de Manchester, reconocidos por sus composiciones de música electrónica generativa y su estética digital. <https://www.autechre.ws/>

-*Ryoji Ikeda*, artista sonoro japonés, maestro de la sonificación de datos y de la abstracción visual minimalista. <https://www.ryojiikeda.com/>

6.3.3. Procesos Compositivos

Los algoritmos de generación rítmica y armónica que rigen esta pieza son todos los descritos anteriormente en el apartado que describe el sistema compositivo.

Dado que se buscaba la mayor variabilidad de resultados musicales posibles, el instrumento puede seleccionar por sí solo entre un gran número de posibilidades a la hora de generar nuevas secuencias, tanto a nivel de tempos y compases como de timbres y textura o de armonía y melodía.

Dada la verticalidad de esta obra, los espectrogramas se han distribuido de manera que las frecuencias graves quedan a la izquierda de la imagen mientras que las frecuencias agudas quedan a la derecha.

6.3.4. Aspectos formales y estructurales

Estructuralmente, las composiciones generadas por este dispositivo toman como unidad fundamental la "página". Una página es, básicamente, una imagen de tamaño igual a toda la pantalla (1920x1080 píxeles). Cada página puede tener una duración de entre 16 y 32 segundos, ya que su contenido puede desplazarse más rápidamente o más lentamente, según el tempo decidido por los algoritmos que gobiernan la generación musical. El contenido de cada una de estas páginas contiene siempre el mismo conjunto de reglas; esto es, la sonoridad de una página será siempre similar desde inicio a final, y internamente no contiene grandes contrastes, ya que los contrastes se producen entre diferentes páginas.

Un conjunto de cadenas de probabilidades conduce la forma y estructura musical, estableciendo que la probabilidad de que se genere un contraste (una página muy diferente a la actual) es menor a la probabilidad de que la siguiente página se construya atendiendo al mismo tipo de reglas musicales generatrices.

6.3.5. Formalización Física.

Físicamente, la obra está compuesta por 3 cajas verticales que acogen en su interior una pantalla, un pequeño ordenador y un altavoz. La factura de estas cajas ha sido una elaboración propia; un diseño a medida que asegura el alojamiento de los distintos elementos tecnológicos que hacen posible la obra.

Las cajas están pensadas para ser colgadas en la pared, como un tríptico pictórico, y para ser observadas/escuchadas desde una distancia aproximada de 2 metros.

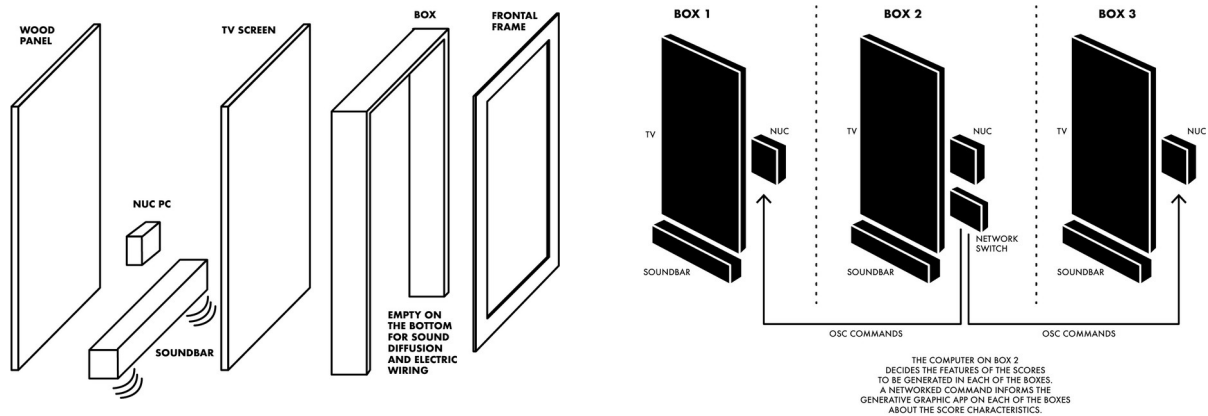


Figura 40: Despiece de la estructura física de la obra. Elaboración propia.

6.4. ANÁLISIS Y DEFENSA: FORMS – STRING QUARTET

6.4.1. Concepto de la Obra



Figura 41: Una imagen del concierto realizado en Abril de 2021 en CosmoCaixa de Barcelona. Elaboración propia.

El concierto "FORMS - String Quartet" es una performance multimedia para cuarteto de cuerda, cinta electrónica e imagen panorámica, basada también en el concepto de "sonificación gráfica", y que fué estrenada en el Museo de la Ciencia "CosmoCaixa", en Barcelona, el mes de Abril de 2021. En el siguiente link puede verse la grabación de este concierto: <https://vimeo.com/553653358>

Los músicos, el Quartet Brossa, interpretan una serie de partituras gráficas que a su vez conforman la escenografía visual, ofreciendo al público la experiencia de poder anticipar la "música que viene". Estas partituras, junto a los espectrogramas que conforman el acompañamiento acusmático de la pieza, han sido creadas previamente y seleccionadas "a mano" de entre los cientos de resultados ofrecidos por el software de generación de música visual.

La intención artística de esta obra está, de nuevo, profundamente ligada con la idea de "música visual". En esta ocasión, el reto era extender el campo de acción de todas estas ideas de sonificación gráfica a un territorio "humano", en el que una serie de intérpretes de

carne y hueso pudieran leer y transformar en música las partituras gráficas generadas mediante algoritmos.

El planteamiento escénico es también un factor relevante en la concepción de la obra, ya que se busca integrar a los músicos dentro de la partitura, y ofreciendo al público una experiencia visualmente atractiva -a la par que didáctica-.

6.4.2. Referentes Artísticos

Además de los referentes visuales mencionados anteriormente, y que forman parte intrínseca del sistema compositivo basado en imágenes, en esta obra se ha tomado en especial consideración algunos referentes muy concretos:

Iannis Xenakis: Metastaseis y Phitoprakta

El sistema de escritura y representación espectral y simbólica que el maestro Xenakis realiza para estas dos obras ha sido muy influyente en nuestra manera de pensar la escritura gráfica para cuerdas.

Figure 1: Graphical plot of calculated velocities. Horizontal axis is time, vertical is particle speed. Each large division represents a different set of temperature/pressure parameters.

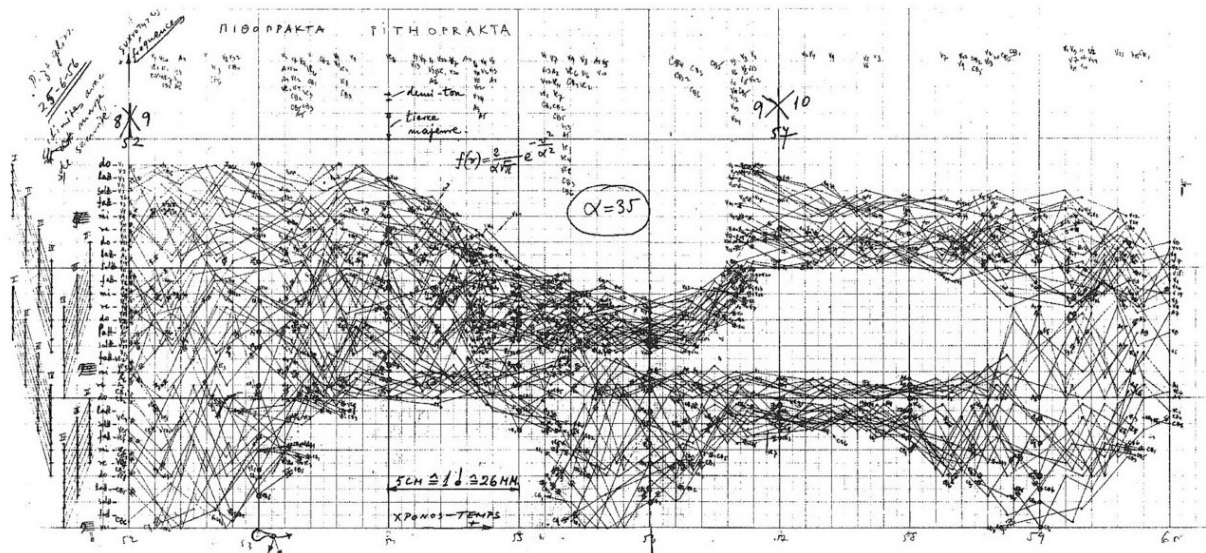
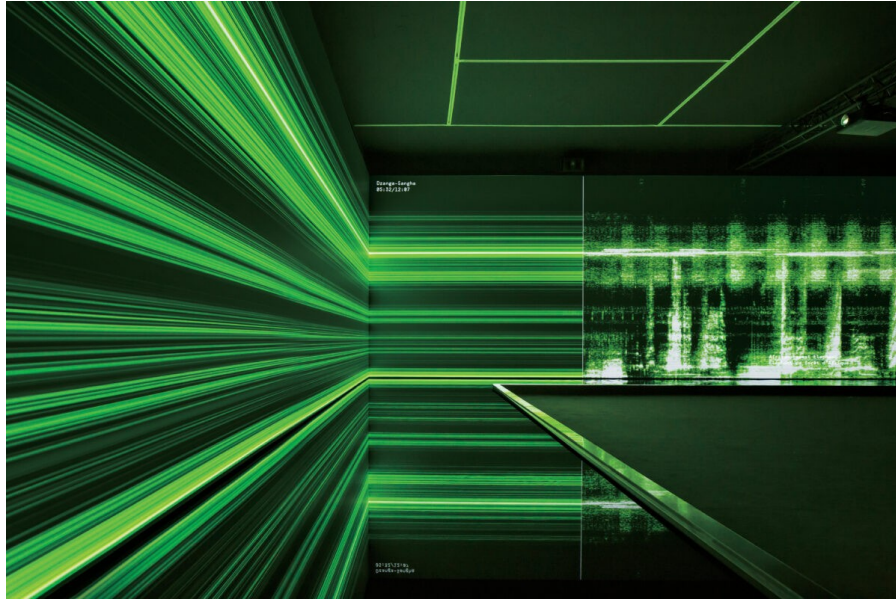


Figura 42: Partitura gráfica de la obra "Phitoprakta" de Iannis Xenakis. Wikipedia.

UVA: The great Animal Orchestra

El tipo de representación espectral y planteamiento escénico de esta instalación del estudio inglés UVA ha sido muy inspirador para la puesta en escena de la obra



<https://www.uva.co.uk/features/great-animal-orchestra-cartier-foundation>

Figura 43: Una imagen de la instalación "The Great Animal Orchestra" de UVA.

Georges Bracque

Durante la confección de los espectrogramas que dan lugar a las sonoridades acusmáticas, nos dimos cuenta de las similitudes de los resultados visuales con el estilo pictórico del cubismo primigenio de la primera etapa de Georges Bracque, y hemos buscado reforzar estas similitudes.



Figura 44: "Botella y peces" de Georges Bracque, 1910. Wikipedia.

A nivel sonoro, la estética de la pieza es ecléctica, aunque pueden entreverse algunas influencias remarcables. La obra consta de dos movimientos de aproximadamente la misma duración. En el primer movimiento, pueden apreciarse influencias musicales de Iannis Xenakis, Roberto Gerhard o Luciano Berio. En el segundo, influencias de compositores como Ben Frost, Ryoji Ikeda, Aphex Twin o Arvo Part, así como de la música tradicional de Japón.

6.4.3. Procesos Compositivos.

Las partituras y espectrogramas de esta obra no se generan en tiempo real como en la obra *FORMS – Screen Ensemble* analizada anteriormente. De hecho, el proceso compositivo empieza con el dibujo a mano alzada sobre una libreta, en busca de conceptos musicales.

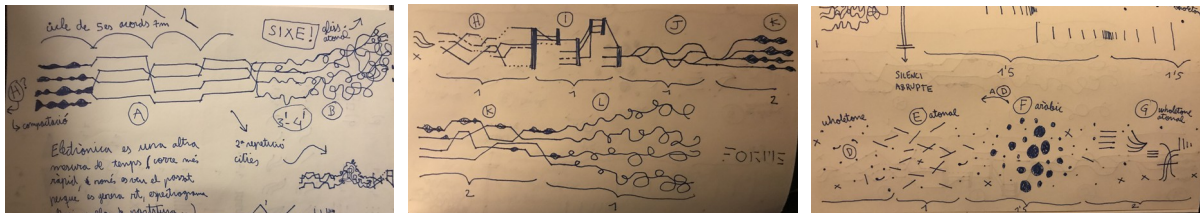


Figura 45: Ejemplos de estudios previos. Elaboración propia.

Estas primeras ideas dibujadas a mano dan paso al modelado matemático de las mismas, a través del código informático. Una vez implementadas, se ha dejado que los algoritmos gráficos generen múltiples "páginas" y se han seleccionado las mejores "a mano", siguiendo criterios musicales y visuales. La duración de cada página (una imagen de 3840*1080 píxeles) es de 32 segundos.

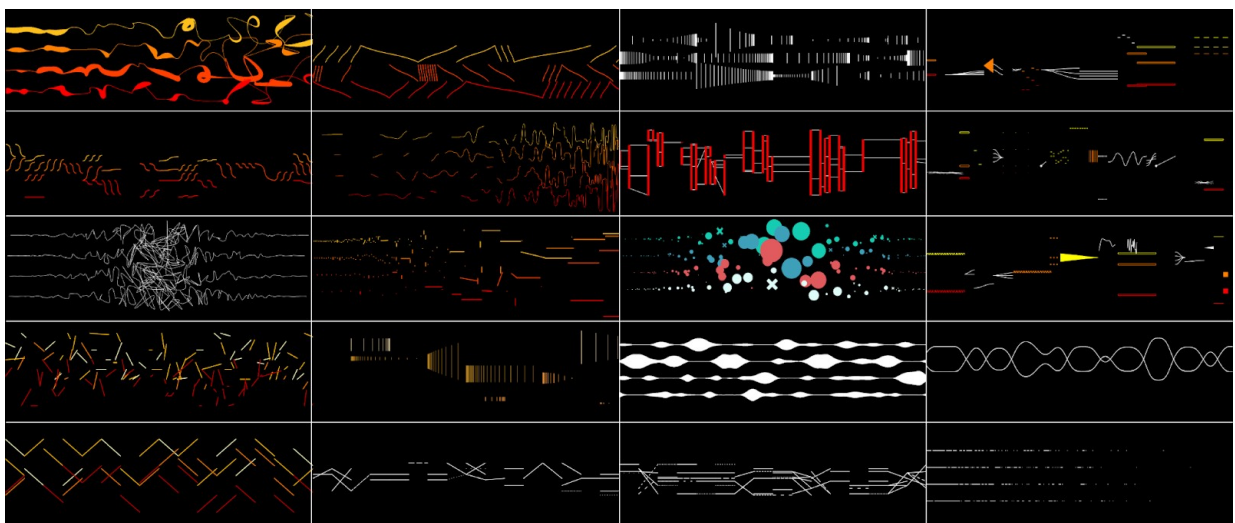
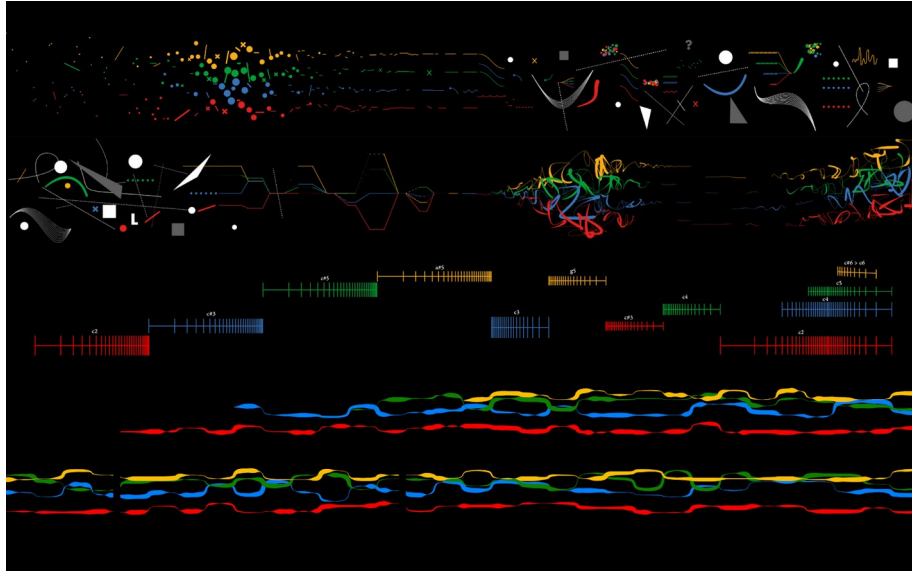


Figura 46: Muestrario de imágenes resultantes de los algoritmos gráficos. Elaboración propia.

Esta estrategia de selección "manual" de las imágenes generadas por los algoritmos también ha permitido una mayor expresividad y control de las meso/macro-estructuras musicales, dejando lugar para las decisiones humanas "meditadas" y al ensayo de los intérpretes.

La secuenciación final de las imágenes se ha realizado mediante softwares convencionales de edición gráfica y de vídeo, y el resultado final se ha renderizado en un fichero de vídeo.



<https://youtu.be/jPxOZ4akLWs>

Figura 47: Partitura completa de la obra. Elaboración propia.

Esta video-partitura es el material con el que ensayan los músicos y el que usan como fuente de su interpretación durante el concierto, además de ser el elemento principal de la escenografía visual.



Figura 48: Ensayo mediante videopartitura. Elaboración propia.

Es necesario diferenciar entre las partituras gráficas orientadas a la interpretación del cuarteto de cuerdas y los espectrogramas orientados a su sonificación mediante algoritmos de sonificación digital. En esta obra conviven ambas estrategias, a pesar de que ambos sistemas son distintos entre sí.

Las partituras gráficas del cuarteto de cuerdas atienden a las tesituras y posibilidades interpretativas de los músicos y de los instrumentos. Así, las notaciones pertenecientes a los instrumentos con tesituras más agudas (violines) ocupan la zona superior de la imagen, mientras que los instrumentos de registro más grave (el violonchelo) ocupan la zona inferior de la imagen. Este posicionamiento vertical no es aproximado, sino exacto, y se ha puesto una gran atención a que toda la verticalidad de los sonidos sea totalmente correcta.

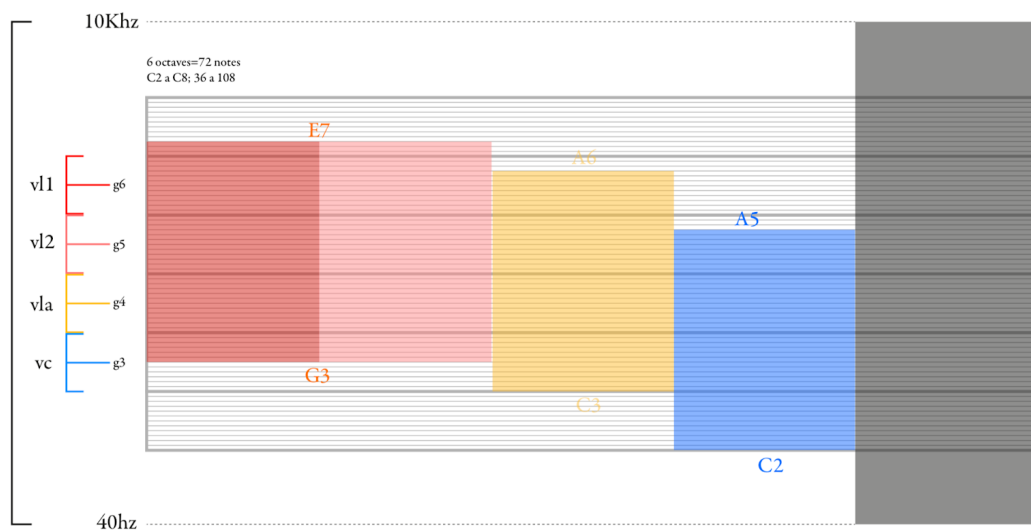


Figura 49: Estudio previo de las tesituras de los instrumentos sobre el lienzo visual. Elaboración propia.

En general, las reglas de lectura de las partituras para cuerdas son idénticas a las de los espectrogramas, aunque se han tomado una serie de licencias que no son espectralmente estrictas, pero que permiten una mayor expresividad en la escritura:

- El grueso de las líneas denota expresión (líneas muy finas=ppp; líneas muy gruesas=fff)
- Determinadas figuras geométricas denotan técnicas instrumentales concretas. Así, una X simboliza un pizzicato Bartok, mientras que un círculo denota un pizzicato tradicional. Las líneas verticales denotan un col-legno

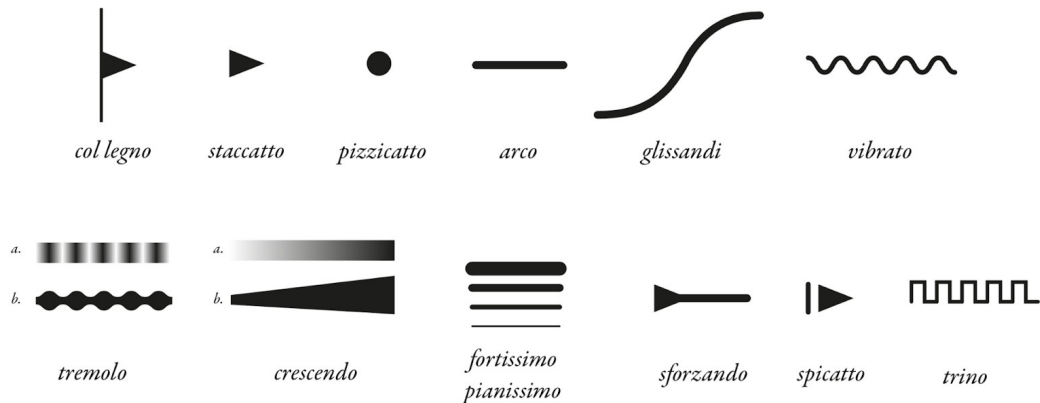


Figura 50: Leyenda de símbolos de la partitura gráfica. Elaboración propia.

Para asegurar la exactitud tonal de la interpretación de los músicos, se han incluido anotaciones de texto en la video partitura que dan referencias claras de las alturas tonales a los músicos, en aquellos momentos en que es necesaria esta exactitud. Estas anotaciones son sólo visibles para los intérpretes, ya que las partituras proyectadas como parte de la escenografía no incorporan estas notas.

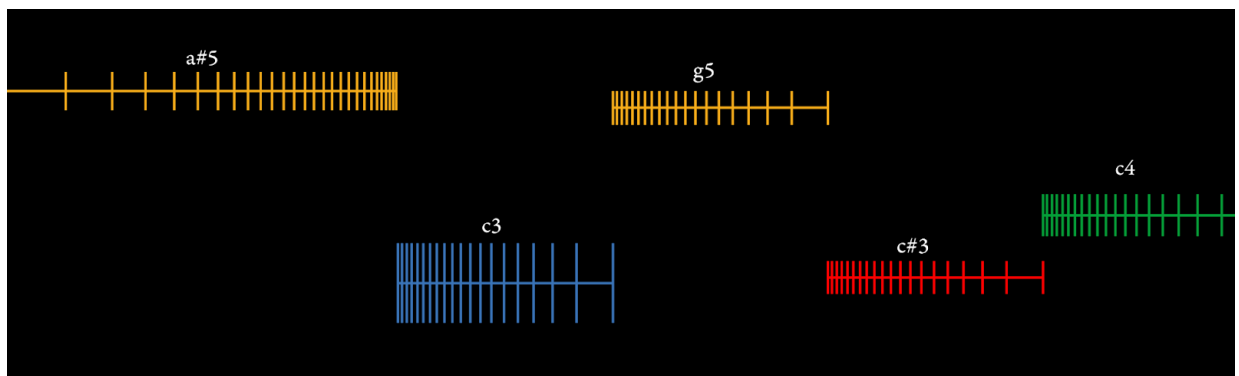
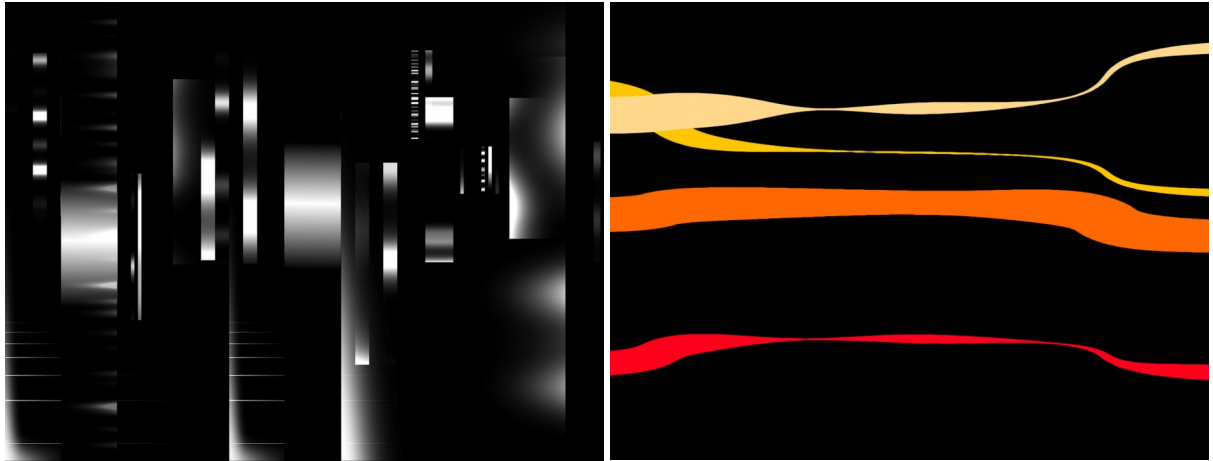


Figura 51: Ejemplo de anotaciones tonales en la partitura gráfica. Elaboración propia.

Cabe destacar que la obra carece de métrica reglada, así que no presenta compás ni tempo fijo, y los músicos deben interpretar las partituras a medida que los elementos gráficos cruzan el cabezal de lectura.

Respecto a los elementos acústicos de la obra, se han generado también a partir de la sonificación digital de las imágenes. Estos espectrogramas, generados siguiendo las reglas expuestas en el apartado que describe el sistema compositivo, y sonificados mediante un patch de Max/MSP, conviven simultáneamente con las partituras gráficas de las cuerdas.



Figuras 52 y 53: Espectrograma acusmático (izquierda) y partitura gráfica para cuerdas(derecha). Elaboración propia.

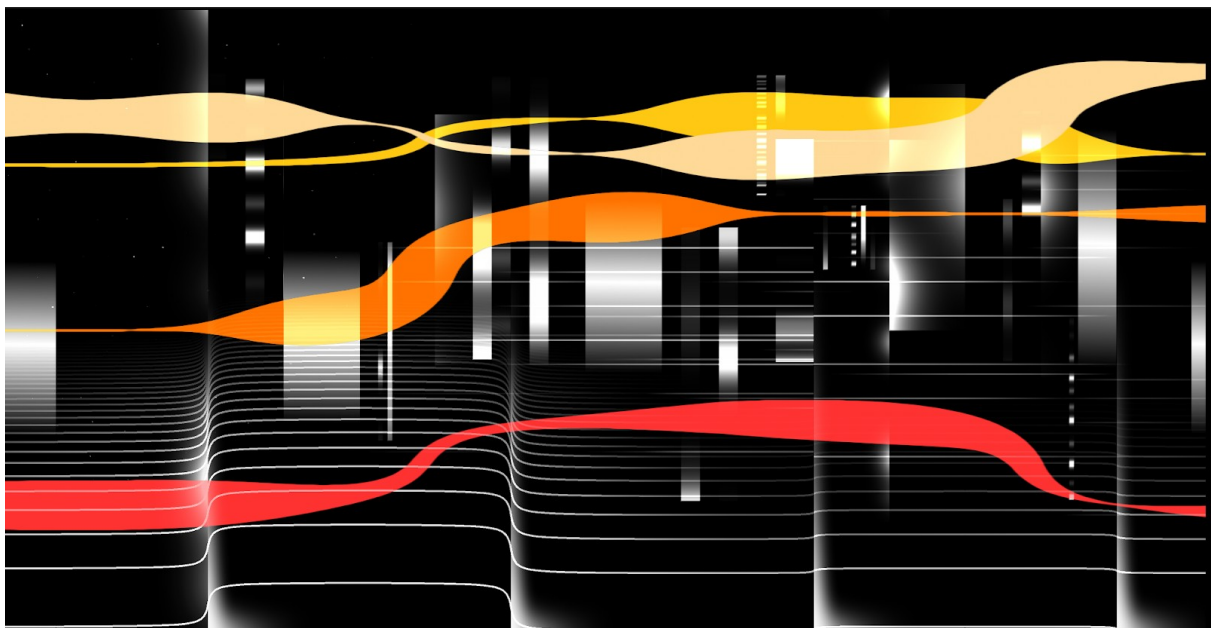


Figura 54: Superposición de espectrogramas y partituras gráficas. Elaboración propia.

En el primer movimiento se trabaja una estética atonal y de tempo libre, donde se exploran las posibilidades expresivas de los distintos objetos visuales/sonoros. En este movimiento predominan las partituras gráficas de las cuerdas, con solo algunas pequeñas intervenciones de la acusmática.

En el segundo movimiento la acústica y la acusmática establecen un diálogo permanente. Después de una breve introducción basada en acelerandos y decelerandos rítmicos mediante la técnica del col·legno y fuertemente influida por los ritmos japoneses de los Taiko, las cuerdas generan una textura modal siempre en legato, a partir de la exploración aleatoria de los acordes posibles de la escala pentáfona Kumoi (C,Db,F,G,Bb), también perteneciente al floklore japonés, mientras que la electrónica aporta el contrapunto rítmico

y las iridiscencias sonoras. En este movimiento, la fusión visual y sonora de la capa acústica y la capa acusmática crean una textura que evoluciona de forma "estática" -en cambio permanente pero sin contrastes evidentes-



1:44 a 3:22 – *Collage*.

Exploración gráfica y sonora, a través de un collage de sonoridades eclécticas en alternancias frecuentes.

3:22 a 3:59 – *Poly Glissandos*

Exploración de glissandos polifónicos, claramente influidos por la obra del maestro Iannis Xenakis.

3:59 a 5:07 – *Garabatos*.

Exploración de la gestualidad gráfica y sonora, a través del dibujado de garabatos.

Movimiento 2 (Hibridación Cuerdas + Electrónica)

5:07 a 6:04 – *Paisaje espectral*

Solo de electrónica, que recrea un ambiente onírico y que introduce la textura armónica que seguirá la obra a partir de este momento, usando la escala Kumoi.

6:04 a 7:17 – *Taikos*

Cuerdas con una variación de la técnica col legno (usando un pequeño palito en lugar del arco), interpretando acelerandos y decelerandos rítmicos al estilo de los Taiko japoneses.

7:17 a 8:25 – *Paisajes híbridos*.

Paisajes electrónicos elaborados, y introducción de las secuencias legato de las cuerdas, que ya no cesarán hasta el final de la obra.

8:25 a 10:06 – *Manchas espectrales*

Introducción de manchas espectrales electrónicas, aproximando las estructuras rítmicas que le sucederán.

10:06 a 10:55 – *Ritmos*.

Evolución rítmica de las manchas espectrales, convirtiéndose en ritmos densos.

10:55 a 11:30 – *Descenso*.

Fragmentación y descomposición de los ritmos en nuevas manchas espectrales aperiódicas.

11:30 a 12:00 – *Final*.

Desvanecimiento de la electrónica y las cuerdas hasta el silencio.

12:00 a 12:16 – *Crédito*

Secuencia de crédito sonificada.

6.4.5. Análisis escénico

La idea que ha guiado el diseño escénico de la obra se fundamenta en la integración de las siluetas de los cuerpos de los músicos dentro de la partitura gráfica. Así, se ha diseñado una gran pantalla panorámica de proporciones 3:1 y dimensiones 9x3m en el fondo de escenario; los músicos se ubican delante del primer tercio -a la izquierda- de la pantalla, dejando libres los dos siguientes tercios. La partitura avanza de derecha a izquierda, en dirección hacia los músicos. Cuando la partitura llega a la zona de los músicos, la imagen se "estira", formando una textura de franjas horizontales que representa el contenido frecuencial de la música que suena en el presente. Así, a nivel escénico vemos una representación del futuro (la música que avanza hacia a los músicos) y del presente (la textura que queda detrás de los músicos).



Figura 57: Imagen de la escena del concierto en CosmoCaixa. Elaboración propia.

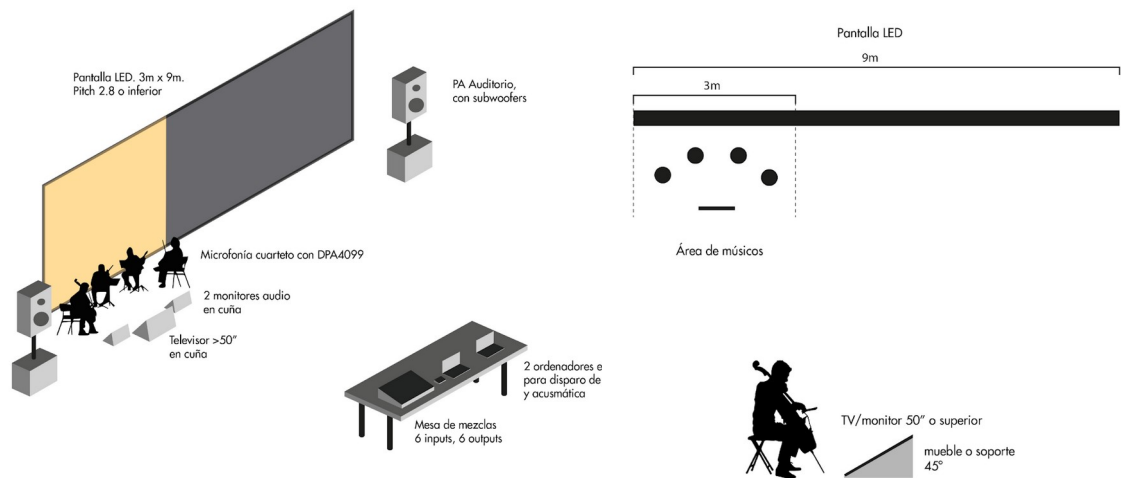


Figura 58: Detalles técnicos y escenográficos. Elaboración propia.

El efecto "dramático" de las siluetas negras en contraluz de los músicos aportan magia a todo el planteamiento escenográfico, y a pesar de tratarse de un diseño escénico de recursos escasos -en comparación a las grandes producciones operísticas o teatrales-, ofrece al público una experiencia atractiva y didáctica.

Para facilitar la lectura y comprensión de las distintas "partichelas", se ha buscado un código de color que identifique a cada uno de los instrumentos. Así, los distintos instrumentos de cuerda se representan mediante colores cálidos -desde el amarillo hasta el rojo-, mientras que la acústica se representa únicamente con el blanco y las escalas de gris.

6.5. ANÁLISIS Y DEFENSA: DESHIELO

6.5.1. Concepto de la Obra

DESHIELO es una propuesta de música visual en directo para conjunto orquestal, cinta electrónica y video-proyección panorámica que representa, de forma abstracta y sintética, un proceso de quebrado y derretimiento de un glaciar. Esta obra ha sido compuesta dentro de la asignatura "Proyectos de composición instrumental" de la profesora Zulema de la Cruz.

De la misma manera que en las obras anteriores, la exploración fundamental de esta obra tiene que ver con la vinculación entre lo sonoro y lo visual. Aún así, la estrategia tomada en esta obra difiere sustancialmente de la de las obras anteriores, ya que se ha dado prioridad a los procesos compositivos "tradicionales". Las estrategias de notación gráfica se han utilizado en el estadio preliminar de la composición, a modo de boceto que luego ha sido "traducido" a notación sobre pentagramas. Una vez compuesta la partitura orquestal, se ha vuelto a reiterar el proceso de transformación desde el pentagrama a la representación gráfica, con el objetivo de conseguir una imagen atractiva que pueda servir, de nuevo, de escenografía para un concierto multimedia en el que música e imagen forman un todo inseparable.

Link al vídeo de la obra y su representación gráfica: <https://youtu.be/zK3WWbs8R-g>

6.5.2. Procesos Compositivos

Toda la obra, pues está concebida desde los bocetos dibujados, tomando como referencia los contornos espectrales que dibujan los sonidos electrónicos y de la orquesta.

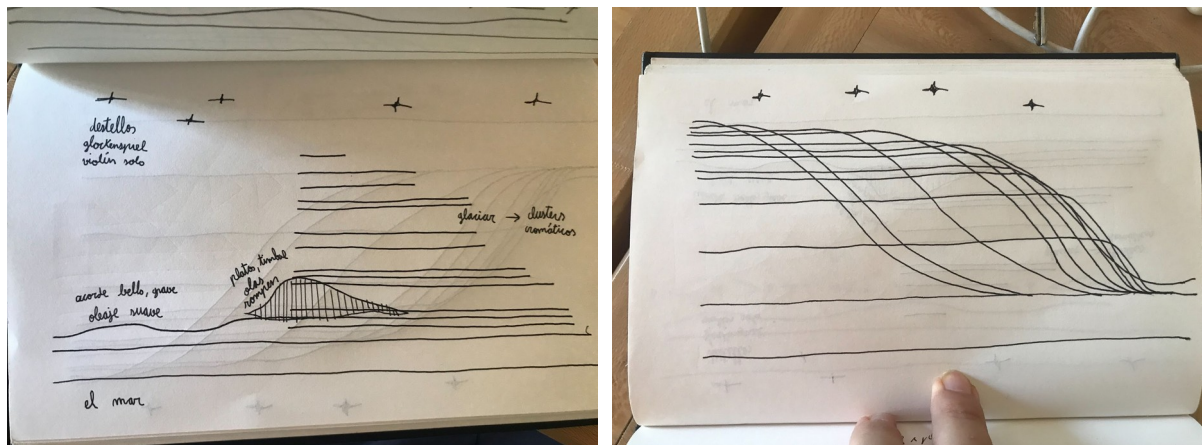


Figura 59: Bocetos previos. Elaboración propia.

La obra trabaja con la idea de texturas orquestales. Se trata de una pieza de tonalidad libre, en la que se suceden pasajes atonales, con pasajes en los que se trabaja con la escala de tono entero. Cabe destacar la intención del uso de manchas espectrales a través de la utilización de clústers, para representar bloques de hielo y el glaciar. También con una intención “textural”, se representa el mar mediante el uso de expresiones oscilantes y periódicas entre pp y mf, en un motivo que se repite a lo largo de toda la obra ya que es -el mar- la base sobre la que se sustenta toda la representación visual y sonora.

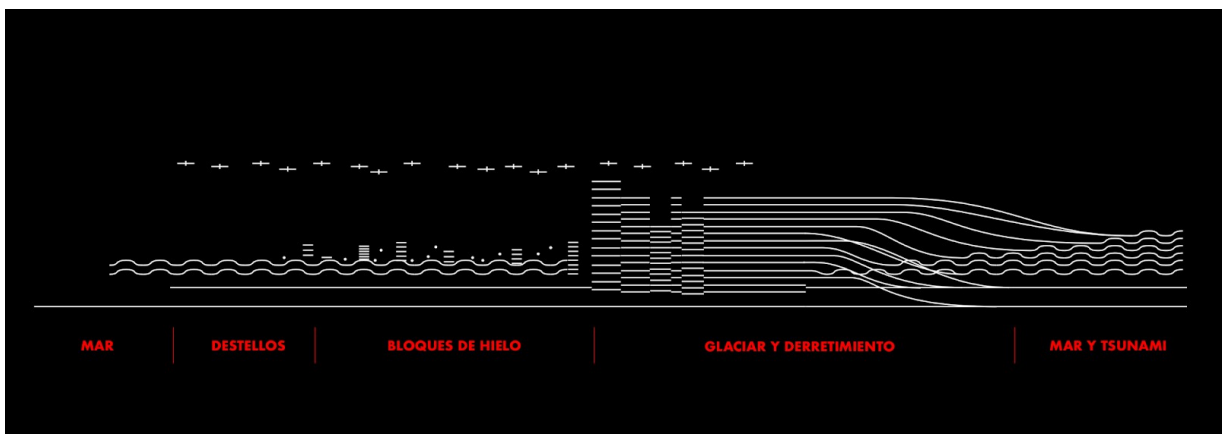


Figura 60: Partitura gráfica previa a la escritura de pentagramas. Elaboración propia.

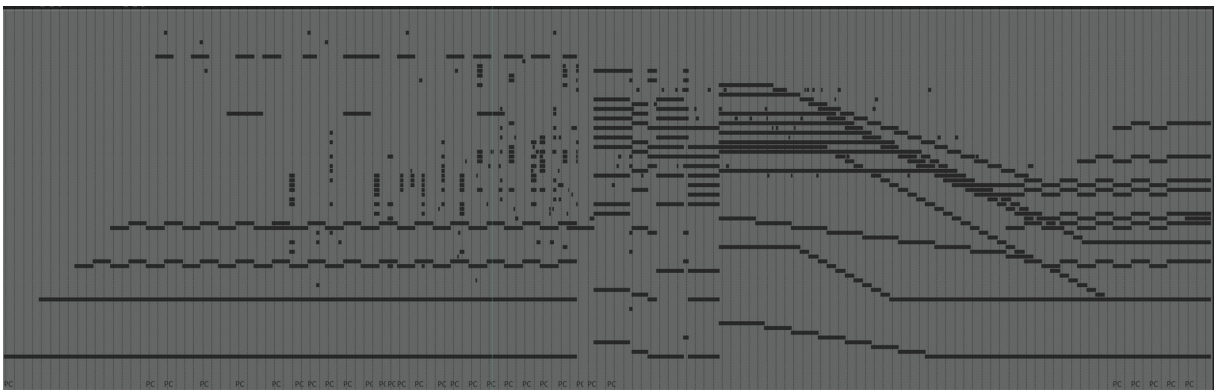


Figura 61: Vista de la notación MIDI de la obra terminada. Elaboración propia.

Para la escritura orquestal se ha utilizado el apoyo de algunas herramientas informáticas de elaboración propia (desarrolladas previamente en el contexto de la asignaturas “Análisis de la Música de los Siglos XX y XXI” del profesor Manuel Ariza), sobre todo para la exploración de los clústers atonales. Se trata de un generador MIDI que, aplicado a un conjunto de librerías orquestales, nos ha permitido navegar rápidamente entre los cientos de opciones posibles de clústers "tutti", agilizando el proceso compositivo y optimizando la creatividad.

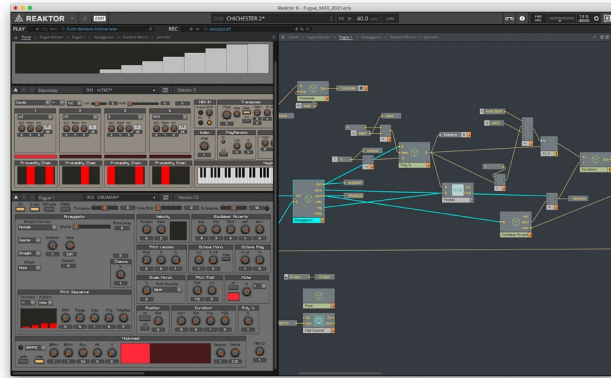


Figura 62: Imagen del asistente compositivo desarrollado para la asignatura de Don Manuel Ariza . Elaboración propia.

Además de la composición sinfónica, la obra integra una introducción plenamente acusmática en la que se representan los gases de efecto invernadero, y que se ha realizado usando las herramientas de generación de espectrogramas sintéticos. Los espectrogramas de esta primera sección, pues, representan "nubes" de gases, y tanto su vertiente visual como sonora hacen referencia a esta estética gaseosa.

La obra integra también grabaciones de campo como parte de la cinta electrónica sincronizada con la interpretación orquestal. Estas grabaciones, libres de derechos y ofrecidas por la plataforma Freesound -iniciativa del laboratorio MTG de la Universidad Pompeu Fabra-, representan fracturas de hielo, y acompañan al momento de descenso tonal -el derretimiento- de la orquesta.

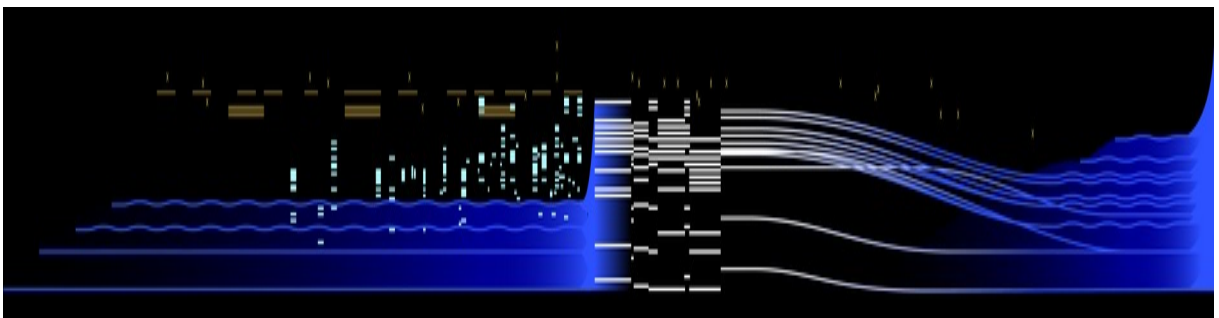


Figura 63: Re-interpretación gráfica final . Elaboración propia.

6.5.3. Aspectos Formales y Estructurales

La pieza inicia con un breve pasaje acusmático en el que se representa la emisión de gases de efecto invernadero. A continuación, la orquesta toma todo el protagonismo y inicia un

paisaje “marino”, en el que se representan las olas del mar, avanza hacia un escenario de pequeños bloques de hielo flotantes hasta encontrar un gran glaciar; un enorme y majestuoso bloque de hielo que, de forma dramática, se derrite hasta su transmutación en agua y su asimilación por parte del océano. La obra termina en un Tsunami provocado por el aumento brusco del nivel del mar.

Puede observarse claramente la estructura de la obra en el siguiente esquema:



Figura 64: Imagen que muestra la estructura de la obra. Elaboración propia.

7. CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

Una vez concluida la investigación descrita en este trabajo, se constata que se ha logrado crear un sistema compositivo capaz de crear música a partir de la síntesis de imágenes.

A través del desarrollo de una herramienta de software que permite la sonificación de imágenes digitales, así como de un conjunto de algoritmos capaces de generar espectrogramas generativos, se ha podido componer *FORMS - Screen Ensemble*, una obra de carácter acusmático.

La subsiguiente evolución de estas herramientas ha permitido su aplicación en la creación de partituras gráficas interpretables por instrumentistas humanos, dando lugar a la obra *FORMS - String Quartet*, en la que se hibridan la síntesis de espectrogramas y la síntesis de partituras como métodos compositivos.

Como corolario, y a modo de primera cata del funcionamiento de estas ideas de composición visual aplicadas a conjuntos orquestales, se ha creado la obra *Deshielo*, en la que el grafismo se usa como generador inicial de los perfiles espectrales de la música.

En todas estas obras se exploran las posibilidades de la aplicación de estos grafismos musicales al espacio escénico, ofreciendo al público una nueva experiencia en la que poder "ver la música".

8. LIMITACIONES

Dado que el sistema compositivo todavía se encuentra en un estado primigenio, los resultados que ofrece no son comparables todavía a la sofisticación y detalle que ofrecen los métodos de composición tradicionales. Tanto los resultados visuales como sonoros están limitados por el código que se halla implementado en las herramientas de software y que, ni mucho menos, está completo.

Se trata, también, de una metodología compositiva minuciosa y complicada, que implica conocimientos en ingeniería de software, diseño gráfico y composición musical, y a la que todavía le falta mucho tiempo de evolución.

En piezas autómatas como *Forms - Screen Ensemble* se echa de menos la inteligencia humana a la hora de crear formas y estructuras evolutivas y coherentes. De la misma manera, a pesar de que la creación automática de ritmos y armonías funciona razonablemente bien, el territorio de la creación de líneas melódicas todavía deja mucho que desear.

En piezas híbridas como *Forms - String Quartet*, la exploración y búsqueda de un balance entre el atractivo visual y el interés musical ha desembocado en un primer movimiento excesivamente ecléctico, y que puede llegar a sonar a "cliché" de música contemporánea. La envergadura del proyecto y las limitaciones personales -de tiempo y conocimientos- han dejado algunos elementos sin trabajar suficientemente: el uso del silencio, insuficiente; el contrapunto, escaso; y el diálogo entre acústica y acusmática, explorado sólo de forma superficial.

En piezas orquestales como *Deshielo*, dado el proceso compositivo "manual" se corrigen algunos de los defectos derivados de la utilización de algoritmos de software, pero la composición continua quedando constreñida por la necesidad de representar los contornos espectrales de un paisaje glacial.

Estas limitaciones son el motor de evolución del sistema compositivo y de los conocimientos del autor, y por tanto no tienen que verse como un fracaso sino como una oportunidad de crecimiento y transformación.

9. PROSPECTIVA

A partir de este punto, y con los nuevos conocimientos adquiridos durante el máster, se abre todo un universo de posibilidades creativas.

Por una parte, se seguirá desarrollando los métodos compositivos basados en la hibridación de imagen y música, tanto en la creación de espectrogramas orientados a la acústica como en las partituras gráficas para instrumentos tradicionales. A partir de lo aprendido durante el proceso de composición de *Deshielo*, se hace necesario profundizar en el desarrollo de un conjunto de herramientas que permitan la creación de imágenes a partir de una música escrita de forma tradicional, subvirtiendo el orden actual de las herramientas compositivas -en las que primero se crea la imagen, y luego la música-

Por otra parte, continuará la exploración expresiva de las herramientas existentes, con nuevos conciertos y proyectos derivados de su uso. De hecho, el concierto *Forms - String Ensemble* ya ha recibido el interés de algunos festivales de música (*Sónar, Eufònic, Ensems, Mixtur*) algunos de ellos con fechas cerradas.

La obra *Deshielo* continuará su desarrollo, ya que las ideas que la conforman permiten una extensión de tiempo mucho mayor. Además, es necesario ahondar en las posibilidades escénicas y visuales de la obra, con el objetivo de llegar a la confección de un concierto multimedia en la línea de *Forms - String Ensemble*, pero extendido a toda la orquesta.

Finalmente, todo este corpus de conocimiento pretende continuar perfilándose en un futuro programa de doctorado, que pueda dar rigor y forma académica a una investigación que está sucediendo de forma natural.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

10.1. ARTÍCULOS Y LIBROS

Kanach, S. (1992). *Formalized Music: Thought and Mathematics in Composition (Revised Edition)*. Pendragon Press.

Levin, G., & Brain, T. (2021). *Code as Creative Medium: A Handbook for Computational Art and Design (Annotated ed.)*. MIT Press.

Reas, C., & Fry, B. (2014). *Processing, Second Edition: A Programming Handbook for Visual Designers and Artists (2nd ed.)*. MIT Press.

Roads, C. (2021). *The computer music tutorial (English Edition)*. MIT Press.

Gómez, J. B., & Morera, O. (2018). *Loops 1: Una historia de la música electrónica en el siglo XX*. RESERVOIR BOOKS.

Reas, C., & Fry, B. (2014). *Processing, Second Edition: A Programming Handbook for Visual Designers and Artists (2nd ed.)*. MIT Press.

Loy, G. (2021). *Musimathics: The Mathematical Foundations of Music*. The MIT Press.

Chion, M. (2021). *Audiovision*. PAIDOS IBERICA.

Daniels, D., Naumann, S., & Thoben, J. (2015). *See This Sound: Audiovisiology: A Reader (New ed.)*. Verlag Der Buchhandlung Walther Konig.

Paul, C. (2015). *Digital Art: 0 (3rd ed.)*. Thames & Hudson.

Betancourt, M. (2018). *Harmonia: Glitch, Movies and Visual Music*. Wildside Press.

Gómez-Martín, F., Taslakian, P., & Toussaint, G. (2009). *Structural properties of Euclidean rhythms*. *Journal of Mathematics and Music*, 3(1), 1–14.

<https://doi.org/10.1080/17459730902819566>. Recuperado el 20/05/2021.

10.2 PARTITURAS Y VIDEOS

-Playlist de partituras gráficas consultadas:

https://www.youtube.com/watch?v=nvH2KYYJg-o&list=PLqWBy2F0I9_QAKjYtZoVxwr4yKNGJeD7_&ab_channel=PierreCarr%C3%A9

Recuperado el 20/06/2021 a las 19:30.

-Playlist de los algoritmos básicos de síntesis espectrográfica generados por el sistema compositivo:

https://www.youtube.com/watch?v=omJdABzmrJM&list=PLqWBy2F0I9_T2dAMEL48am9OviMwFBeop&ab_channel=SantiagoVilanova

Recuperado el 30/06/2021 a las 20:30.

11. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Algoritmo: Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema. En el contexto de esta investigación, se refiere al conjunto de operaciones -y su implementación en código- que dan lugar a una determinada generación gráfica o sonora.

Sonificación: Producción de sonido a partir de una acción mecánica, física o de cualquier otra naturaleza. En el contexto de esta investigación, se refiere a la transformación de un tipo de información (imagen o datos) en sonido mediante el uso de algoritmos digitales.

Generativo, a: Que puede engendrar o producir. En el contexto de esta investigación, se refiere a la capacidad de creación autónoma de música o imágenes basada en un conjunto de reglas definidas mediante algoritmos digitales.

Música Visual: Música visual, también llamada música del color, hace referencia al uso de estructuras musicales en medios visuales, incluyendo el [cine mudo](#) o piezas de Lumia sin sonido. En el contexto de esta investigación, hace referencia la música creada a partir de medios o procedimientos gráficos, y que incorpora en su difusión elementos visuales

Anexo A. Portfolio de Obras

<https://1drv.ms/u/s!AiSP7rN8GEIJhSVXs2O7OeB0wmwE?e=fePbXC>

Anexo B. Documentación extendida sobre el sistema compositivo

<https://1drv.ms/u/s!AiSP7rN8GEIJhSYmtc5Kuars5OyX?e=6bCTz4>