



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MÚSICA



Máquinas Sonoras:  
Aplicaciones de las ciencias de la complejidad a la  
creación musical y sonora

Tesis

Que para obtener el título de  
Licenciado en composición

Presenta

Aarón Arturo Escobar Castañeda

Asesor: Dr. Felipe Lara Rosano

Ciudad de Mexico, Junio 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Agradecimientos

Primero quiero expresar mi más profunda gratitud a mi familia: Pilar, Arturo, Luanne, por el apoyo incondicional que desde el inicio de mi carrera como compositor me han brindado. Agradezco especialmente a mis padres por ser increíblemente amorosos y alentadores, en los momentos más difíciles, por permitirme la libertad de ser yo mismo: por dejarme aprender, desarrollarme y fortalecer mi vida a través de la música.

Quiero agradecer ampliamente a mi asesor de tesis, el Dr. Felipe Lara Rosano, quien despertó en mí el interés por los sistemas complejos y sin cuyo apoyo, perspicacia, comentarios y meticulosa corrección, esta tesis no habría sido realizable.

Esta tesis no hubiera sido posible sin la ayuda y la influencia de muchos individuos, músicos, investigadores y teóricos, cuyos textos, ideas, planteamientos y proyectos artísticos me permitieron articular esta tesis.

Quiero agradecer especialmente a los amigos y compañeros que han estado conmigo, acompañándome durante este largo proceso.

Finalmente agradezco a la vida que ha puesto en mi camino a una gran persona que me acompañó detrás de este arduo trabajo y que siempre ha creído en mí. Quiero darte las gracias por tu inigualable agudeza, comentario, lectura, sugerencia y crítica que me ayudaron para concluir este trabajo.

Muchas gracias Rossana.

# Contenidos

## Introducción

### Capítulo 1. Estado del arte

1.1 El arte generativo como base de sistemas de creación	1
--	---

### Capítulo 2. Ciencias de la complejidad, música y arte sonoro

2.1 Definición y orígenes de las ciencias de la complejidad	16
2.2 Ciencias de la complejidad y arte generativo. Procesos y proyectos actuales de creación sonora y musical	19
2.3 Tipología de las máquinas sonoras	21
2.3.1 Máquinas teleológicas	24
2.3.2 Máquinas autónomas	25
2.3.3 Métodos/algoritmos evolutivos (sistemas biológicos emergentes)	30
2.3.4 Sistemas que aprenden	33
2.3.5 Estructura lingüística o gramática	35
2.3.6 Sistemas interactivos/conductuales	37
2.3.7 Modelos basados en agentes autónomos-inteligentes	44
2.3.8 Máquinas heterónomas	51
2.3.9 Máquinas deterministas	52
2.3.10 Máquinas estocásticas/indeterministas	55
2.3.11 Sistemas basados en el conocimiento	55

2.3.12 Composición algorítmica asistida por computadora	58
2.3.13 Procesos de toma de decisión no-determinista	59
2.3.14 Sistemas Híbridos	63
Capítulo 3. Mapeo de datos como técnica de composición musical y sonora	65
3.1 Criterios estéticos en las técnicas del mapeo de datos	66
3.2 Crítica de las prácticas de creación musical y sonora vinculadas a las técnicas de mapeo y la cientifización del arte	75
Capítulo 4. Máquinas Sonoras: sistema interactivo emergente	
4.1 Antecedentes del proyecto	81
4.2 Sistema sonoro interactivo emergente basado en agentes	85
4.3 Características estructurales	89
4.4 Análisis de las variables del sistema	93
4.5 Momentos sonoros diferenciables en las máquinas sonoras	96
4.6 El papel del compositor/improvisador(es)/ingeniero de audio dentro del sistema interactivo	98
4.7 Diagnóstico del sistema	99
Conclusiones	103
Bibliografía	107

## Introducción

La música concebida en el ámbito musical académico posee una serie de procedimientos estructurales y organizacionales comunes que la hacen reconocible a una escucha perteneciente a estas prácticas. Si dichos procedimientos son manejados no desde un enfoque musical tradicional, sino desde un enfoque de sistemas complejos (que concibe cualquier organización como sistema y considera fenómenos como la emergencia de propiedades cualitativas y cuantitativas a partir de la interacción entre los agentes de un sistema), ¿qué tipo de música, arte o expresión sonora resultaría?

En esta tesis se plantea que los diferentes enfoques de las ciencias de la complejidad por su carácter interdisciplinario, son capaces de crear propuestas artísticas y más específicamente sonoras y musicales que pueden ser muy innovadoras, desde el planteamiento conceptual, la exploración y complejidad técnica hasta el resultado final de la obra. El interés de esta tesis radica en investigar cómo las ciencias de la complejidad han permeado en la música y la exploración del sonido en los últimos cincuenta años. Asimismo, se propone investigar y teorizar cómo el arte generativo ha estado presente a lo largo de la historia del arte y más específicamente en la música, de modo que dicha aproximación me permita plantear un trabajo creativo y reflexionar cómo éste se posiciona histórica y estéticamente

frente a prácticas basadas en el enfoque de las ciencias de la complejidad y arte generativo, partiendo de un mapeo general de éstas.

La tesis plantea a grosso modo un recorrido histórico alrededor de expresiones musicales de occidente que pueden entenderse desde los conceptos de las ciencias de la complejidad, a los que se asocia el arte generativo, y que han sido empleados de alguna manera para crear obras o sistemas artísticos en el último milenio. Comenzando con ejemplos de Guido d'Arezzo hasta llegar a la década de los 90s y los 2000s donde ha habido un fuerte énfasis en varias disciplinas artísticas por emplear los diferentes enfoques de las ciencias de la complejidad sin necesariamente nombrarlo así. Después se analizan y discuten algunos proyectos sonoros relacionados con las ciencias de la complejidad en los últimos 60 años. Se propone el concepto de máquina sonora, así como una propuesta tipológica de las posibles subdivisiones de las mismas a partir de tres categorías primarias: máquinas autónomas, máquinas heterónomas y máquinas híbridas.

Adicionalmente la tesis presenta de manera amplia una discusión más teórica sobre algunas técnicas de mapeo que son usadas por los artistas/ compositores/programadores para mostrar las dimensiones sonoras de su sistema. El mapeo de datos es fundamental en este punto ya que de esta práctica se desprende el resultado final de la obra ¿quién y qué determina la estética y el mapeo de los datos producidos dentro de un sistema complejo o generativo, qué tipo de datos son los que se toman en cuenta y cuáles son los que quedan fuera, cómo se toman estas decisiones y de qué forma afectan al resultado final? Estas preguntas serán contestadas a partir del análisis de un conjunto de obras vinculadas a la composición musical y el arte sonoro.

Además de esto, se discuten las ideas de obra acabada y obra en proceso, así como algunas posturas que hay alrededor de la cientificación

del arte. Se plantean preguntas sobre el estatus de la “obra de arte” dentro de las prácticas estéticas ligadas a la ciencia, donde se discute la idea de justificar un trabajo creativo principalmente a través del código y procesos de programación o la conceptualización de la obra. En contraste con lo anterior se defiende la práctica de un arte de carácter más exploratorio, perceptivo o sensitivo a la escucha y las problemáticas artísticas actuales que esto implica.

Finalmente, partiendo de una obra propia, derivada de esta investigación, la cual titulé *máquinas sonoras: sistema interactivo emergente*, se aplican algunos de los conceptos de las ciencias de la complejidad como la emergencia, adaptación, iteración, realimentación y autorganización a la construcción de entidades sonoras autónomas (máquinas sonoras) capaces de interrelacionarse, modificarse a sí mismas y entre ellas, para finalmente modificar el entorno acústico de un espacio que al mismo tiempo las esté modificando. El sistema es capaz de generar propiedades emergentes en el medio donde interacciona, causando el surgimiento de patrones íntegros relacionados que pueden resultar en algo muy interesante.



# Capítulo 1

## Estado del arte

### 1.1 El arte generativo como base de sistemas de creación

Sí bien a lo largo de la historia la música ha pasado por múltiples y diversos sistemas de creación, la mayor parte de la composición tendría en común principios generativos que ayudan a dar forma y sentido a las ideas que el compositor deposita en su música, además de agilizar sus procesos de creación. Sin embargo, esta introducción sobre la música generativa no pretende describir todos estos sistemas, sino más bien rastrear la historia y los orígenes de la creación musical basada en sistemas generativos dotados de un cierto grado de autonomía y azar. Lo que intento realizar es vislumbrar las formas en que la composición occidental se ha visto permeada por varios de los enfoques que las ciencias de la complejidad han retomado y que pueden ser muy innovadores.<sup>1</sup>

Comencemos por una definición de sistema y arte generativo. La palabra sistema proviene del griego *systema* que a su vez se deriva de *synistemi* que significa: conjuntar, mezclar, organizar. Un sistema es un conjunto de componentes donde cada elemento está relacionado al menos con algún otro y la manera cómo un elemento afecta el todo depende de al

---

1 Galanter, P., What is Generative Art? Complexity Theory as a Context for Art Theory, Generative Art Proceedings, Milán 2003, p. 4.

menos algún otro elemento.<sup>2</sup> El arte generativo está basado en procesos lógicos y algorítmicos definidos por el artista-programador a partir de una serie de reglas automatizadas y ejecutadas por una máquina o cualquier otra invención regida por un procedimiento determinado. Según Philip Galanter, se entiende por arte generativo a “cualquier práctica artística en la que el artista usa un sistema, tal como las reglas de una lengua natural, un programa informático, una máquina o cualquier otra invención regida por un determinado procedimiento, que se inserta en un mecanismo dotado de algún grado de autonomía que contribuye a la creación de un trabajo artístico completo”.<sup>3</sup>

Los procesos de arte generativo a través de la historia del arte han sido parte del imaginario creador para muchos artistas. Cabe destacar que actualmente se entiende por música algorítmica o generativa<sup>4</sup> a las prácticas de creación que parten del uso de la computadora y sistemas automatizados. Galanter llega a la conclusión de que el arte generativo es tan antiguo como el mismo arte. Por sí misma la composición musical es un proceso generativo, si partimos de la idea de establecer un sistema determinado para ajustarse a él lo mejor posible. “La composición musical siempre ha estado orientada por el pensamiento computacional del compositor, algunas veces aún más que por la relación tradicional con la inspiración”.<sup>5</sup>

Asimismo, el acto de la escucha parte por un lado, de la inmediata y placentera experiencia sonora y por el otro, de la creación de expectativas,

---

2 Edwards, M., Algorithmic Composition: Computational Thinking in Music, Communications of the ACM, Vol. 54 No. 7, pp. 58-67

3 Galanter, P., What is Generative Art? Complexity Theory as a Context for Art Theory, Generative Art Proceedings, Milán 2003, p. 4.

4 Aunque hay más de un punto de vista sobre si la música algorítmica o generativa son diferentes, en la tesis tomaré a estos dos términos como iguales partiendo de la definición de Galanter del arte generativo.

5 Edwards, M., Algorithmic Composition: Computational Thinking in Music, Communications of the ACM, Vol. 54 No. 7, pp. 58-67

posibilidades y asociación a través de la cognición musical (la memoria, la retención). En palabras del musicólogo Erik Christensen “La retención de la memoria de corto plazo permite la experiencia coherente de entidades musicales, que se comparan con otros eventos del flujo musical; la comparación consciente o inconsciente con la experiencia musical anterior se almacena en la memoria a largo plazo, y la creación continua de las expectativas de los próximos eventos musicales.”<sup>6</sup> Las cualidades de la cognición musical y el pensamiento computacional del compositor<sup>7</sup>, son las que han posibilitado el desarrollo de la estructura formal y que por los últimos mil años han sido parte, por lo menos, de la tradición musical occidental. Al respecto Ligeti señala:

“Debido a que espontáneamente comparamos cualquier nueva característica que aparece en la conciencia con las características ya experimentadas, y desde esta comparación construimos conclusiones sobre las próximas características, podemos pasear por la estructura musical como si su construcción estuviera presente en su totalidad. La interacción de la asociación, la abstracción, la memoria y la predicción son el prerrequisito para la construcción de redes de relaciones que hacen la concepción de la forma musical posible.”<sup>8</sup>

---

6 Christensen, E., *The Musical Timespace, a Theory of Music Listening*. Aalborg University Press, Aalborg, Denmark, 1996.

7 Por ejemplo, las diferentes estructuras clásicas en el ámbito formal (ABA, ABACA, ABCBA, ect); las técnicas empleadas en el isorritmo; las estructuras armónicas tradicionales; las técnicas de la inversión, retrogrado, retrogrado invertido, transposición, etc.

8 Ligeti, G., Über form in der neuen musik, *Darmstädter Beiträge zur neuen Musik 10* (1966), pp. 23–35.

Guido d'Arezzo en la era medieval creó el innovador sistema de teoría musical “micrologus de disciplina artis musicae”, además fue un pionero en el campo de la composición algorítmica ya que creó un método para la conversión automática de textos en frases melódicas, así como el sistema de la mano guidoniana basado en el método mnemotécnico<sup>9</sup> para ayudar a los cantantes en la lectura a primera vista y para recordar los nombres de las notas musicales que son mapeadas en los dedos de las manos.<sup>10</sup>

Un ejemplo temprano de música creada con un sistema determinista basada en el propio cálculo estructural del compositor es *ma fin est mon commencement (mi fin es mi principio)* de Guillaume de Machaut (c. 1300 – 1377). En esta obra encontramos un palíndroma musical o un canon retrógrado construido por tres voces, en donde el triplum y el cantus (el primer contrapunto y el canto firme) comparten una misma melodía, cantada en direcciones contrarias que se cruza a la mitad de la misma, mientras una voz comienza con el principio la otra comienza con el final y viceversa. La parte del tenor (segundo contrapunto o bajo) al doble de tiempo la mayor parte de las veces, tiene su propia melodía en donde Machaut utiliza una estrategia diferente ya que a la mitad de la pieza invierte la dirección de la melodía, creando un espejo de sí misma. Justo en el compás veinte es donde las tres voces convergen en un unísono para después continuar de manera invertida. A pesar de haber analizado y tener en mente la estructura de la obra resulta muy difícil percibir en una o varias audiciones la estrategia composicional que Machaut emplea, ésta sólo se

---

9 Sistema de memorización que ayuda a recordar fragmentos largos de información, especialmente en forma de listas, números, letras, etc.

10 Nierhaus, Gerhard, *Algorithmic Composition*, Germany, SpringerWien NewYork, 2009, p.

aprecia al analizar la partitura o el texto que al mismo tiempo describe la estructura de la obra.

Las fugas y los cánones<sup>11</sup> de J.S. Bach pueden ser considerados también como arte generativo, en el sentido de que existe un estricto proceso formal en la organización del material musical y en las exposiciones de los temas empleados por el compositor.

Otro ejemplo que podemos citar de música generativa es el *Würfel-Menuet* (minueto de un dado)<sup>12</sup> que Johan Philipp Kirnberger (1721 – 1783) creó en 1757. En esta obra Kirnberger crea noventa y seis motivos musicales de un compás que se distribuyen en cuatro voces, los motivos están colocados horizontalmente en una tabla de ocho filas que corresponden a los ocho compases de la primera sección, verticalmente se encuentra el valor del dado (del uno al seis) que podría salir en la tirada, de modo que al tirar el dado el resultado determina el número del compás a elegir en cada una de las ocho tiradas. En la segunda sección se repite el mismo procedimiento. Sin escuchar ni analizar la forma en la que los compases están distribuidos en la tabla, podríamos imaginar que la pieza caería en el caos absoluto pero no es así, ya que al analizar el proceso que Kirnberger propone, encontramos que cada una de las filas corresponde a una sección armónica de modo que al tirar el dado las opciones posibles sean congruentes con el discurso armónico y melódico del minuet. Posteriormente en 1787 Mozart retoma este principio compositivo y crea su propia versión *Musicalisches Würfelspiel KV516* (juego de dados musical), las diferencias de esta obra son que él usa el vals en vez del minuet, agrega el uso de dos dados y compone 176 compases musicales distribuidos en dos

---

11 Por ejemplo, los canones BWV 1087.

12 Kirnberger, Johann Philipp, *Würfel-Menuet (score)*, Extraído de <http://conquest.imslp.info/files/imglnks/usimg/e/e2/IMSLP121713-WIMA.2ba3-menuet.pdf>

voces. Todo este sistema genera de acuerdo a datos obtenidos por el IIMAS de la UNAM 45,949 billones<sup>13</sup> de posibles valeses, lo que equivale a 728 millones años de ejecución continua si cada vals durara treinta segundos.<sup>14</sup> En estos dos ejemplos podemos encontrar sistemas de composición que parten de la organización y la desorganización coexistiendo al mismo tiempo. Por un lado están los compases musicales definidos por un sistema altamente riguroso (la tonalidad) y por el otro, un sistema aleatorio al usar los dados.

Un sistema importante de composición que surge a principios del siglo XX que rompe por completo el sistema tonal en la música académica es el serialismo (o dodecafonismo) de Arnold Schoenberg. Este sistema altamente riguroso propone el uso indiscriminado de los doce sonidos de la escala cromática haciendo a un lado el sistema jerárquico tonal en donde siete sonidos gravitan alrededor de uno. Schoenberg prohíbe con este sistema usar una nota más que otra, de manera que todas participan en igual medida como en un sistema democrático. Esto lo lleva a estructurar series de doce sonidos en cualquier orden elegido, generando así una secuencia original que después podía ser modificada a través de las operaciones de retrogrado, inversión, retrogrado invertido y transponerse a cualquier intervalo, por lo que se pueden obtener hasta 48 versiones diferentes de la serie original.<sup>15 16</sup> Posteriormente Schoenberg y sus alumnos, entre ellos Berg y Webern extendieron las reglas del sistema serial

---

13 Facundo, Mirtha, Juego musical de dados de Mozart, Extraído de [http://www.j-music.es/FileUpload/articulos/gen014-ARTICULO-Juego\\_Musical\\_de\\_dados\\_de\\_Amadeus\\_Mozart\\_j-m.pdf](http://www.j-music.es/FileUpload/articulos/gen014-ARTICULO-Juego_Musical_de_dados_de_Amadeus_Mozart_j-m.pdf)

14 Un programa basado en [[LilyPond]] que genera Valses y Contracencias <https://rbrnpi.wordpress.com/2013/08/29/mozart-kv516-f-musical-dice-game>

15 Los doce sonidos de la escala cromática multiplicados por la secuencia original, el retrogrado, la inversión y el retrogrado invertido.

16 En las variaciones para orquesta op. 31 (1928) Schoenberg emplea de manera amplia esta técnica.

abandonando las reglas clásicas que prohibían alterar la serie original. Fue así que Oliver Messiaen radicalizó el sistema serial en su tratado *Technique de mon langage musical donde integra* la serialización de más elementos musicales como alturas, ritmo, dinámica, registro y ataques.<sup>17</sup> Más adelante compositores como Stockhausen, Nono, Boulez y Babbitt popularizaron la técnica del serialismo. El serialismo fue cuestionado ampliamente por críticos y compositores por sobrepasar las capacidades comunes de la percepción. El serialismo para Lévi-Strauss “no puede operar como un lenguaje comunicativo porque carece de un nivel de articulación primario (que es proporcionado en la música tonal, por ejemplo, por las relaciones jerárquicas entre las clases de altura en la escala diatónica) necesario para establecer y definir las expectativas del escucha.”<sup>18</sup> Nicolas Ruwet desde la lingüística estructural ha señalado las dificultades que obstaculizan percibir las relaciones de la música serial. La serialización de todos los elementos musicales —que muchas veces carecen de redundancia— reta al oyente a ir más allá de sus concepciones tradicionales para sumergirse en un mundo sonoro donde la percepción, lejos de poder comprender principios sintácticos inherentes a la obra, tiene que cooperar activamente en la construcción de una coherencia musical.<sup>19</sup>

Alternativamente mientras el serialismo estaba en apogeo, John Cage por su cuenta trabajaba con su amigo, el pianista y compositor David Tudor la obra de *Music of Changes* en 1951, basada en sistemas completamente indeterminados. El proceso de composición estaba regido por decisiones tomadas con base en el I Ching (un antiguo texto chino de

---

17 Un ejemplo interesante de serialismo integral es *Mode de valeurs et d'intensités* de Messiaen

18 Griffiths, Paul, "Serialism." *Grove Music Online. Oxford Music Online*. Oxford University Press, accedido 13 de Febrero, 2015, <http://www.oxfordmusiconline.com/subscriber/article/grove/music/25459>.

19 *Ibid*

adivinación). El proceso de composición seguido por Cage consiste en usar un sistema de tablas con diferentes elementos musicales de ocho por ocho celdas, para coincidir con los 64 hexagramas del I Ching. El I Ching es consultado para definir el evento sonoro o el silencio, la duración, la dinámica y la densidad polifónica de la pieza, de acuerdo con las tablas de los respectivos materiales musicales. Adicionalmente para incluir nuevos materiales Cage recurre a tablas que pueden alternar entre estados móviles e inmóviles, de manera tal que cuando una célula particular es usada su contenido es inmediatamente remplazado por algo nuevo.<sup>20</sup>

Cage define la cualidad de la indeterminación en la música como un elemento que puede hacer que una misma pieza sea necesariamente única en cada interpretación, el papel del interprete es determinante para darle a la pieza la continuidad morfológica y el contenido expresivo.<sup>21</sup>

En el arte de la fuga, la estructura, la cual es la división del todo en partes; el método, el cual es el procedimiento de nota-a-nota; y la forma, el cual es el contenido expresivo, la morfología de la continuidad, están todas determinadas. Las características de la frecuencia y la duración del material también están determinadas. Las características del timbre y la amplitud del material al no estar dadas, son indeterminados. Esta indeterminación, trae consigo la posibilidad de una autentica estructura armónica y rango de decibelios para cada interpretación del Arte de la fuga.<sup>22</sup>

---

20 Pritchett, James, *The Music of John Cage*. Cambridge University Press, 1993, pp. 79-83

21 Cage, John, *Silence*, Middletoen Wesleyan University Press, 1973, pp 35

22 Ibid



Tanto Cage como Xenakis buscan abordar el sonido basándose en sistemas que no parten del determinismo musical tradicional. Los dos parten de un proceso generativo, cuestionan los métodos convencionales de la organización sonora y buscan un cambio de paradigma, pero ambos se aproximan mediante diferentes métodos para resolver el problema. Por un lado, Cage busca romper y liberarse de sus referentes compositivos y crear algo realmente innovador. Al Deconstruir las lógicas estructurales de la música usando un método “anti-racional” o al alejarse completamente del ámbito científico, es que logra valerse de reglas que el mismo elige de manera aleatoria para crear una música sin precedentes, una música completamente creada partiendo del azar. A pesar de las críticas, Cage lo arriesga todo para encontrar el procedimiento adecuado y resolver el problema de cómo organizar el sonido sin partir de sistemas musicales conocidos y finalmente lo logra creando más de un centenar de obras producidas bajo este esquema. A su vez, Xenakis en su pensamiento racional busca disgregarse de la linealidad del pensamiento musical. Xenakis en comparación con Cage parte de las ciencias, “...estaba guiado por una concepción estadística de sonoridades complejas, generando lo que eventualmente llamaría música “estocástica”<sup>23</sup>. A través de su formación como arquitecto, matemático y compositor, es que propone que el desarrollo temporal de un sistema estocástico puede ser analizable en términos de probabilidad. La estocástica puede concebir macro-estructuras tales como gases, nubes o galaxias en su totalidad, pero la cantidad de elementos que comprende es tan grande que su conducta interna no puede ser determinada. Paralelamente, la masificación de las vías de comunicación dio lugar a que la tecnología desarrollara una base teórica que permitiera

---

23 Harley, J., Xenakis, his life in music, New York and London, Routledge, 2004, p. 11.

analizar el flujo de datos de forma sistemática. Claude Shannon y Warren Weaver desarrollan la teoría de la información o la teoría matemática de la comunicación, que propone realizar análisis y procesamientos de información a través de canales de comunicación determinados para cuantificar y optimizar la transmisión de los mensajes. Esta teoría significó un cambio de paradigma para muchas disciplinas a lo largo de 1950, y permite en el campo de las artes comprender el complejo mundo de la transmisión de información e incorporarlo en su pensamiento. Para Xenakis la percepción humana solo puede comprender los “contornos globales de sonoridades complejas”, e intenta aplicar procesos de la teoría de la información (como los de Claude Shannon) para describir pasajes de información a través de los canales de comunicación.<sup>24</sup>

...gracias a la complejidad, la estricta causalidad determinista que los neo-surrealistas postularon se perdió, entonces era necesario reemplazarla por una causalidad más general, por una lógica probabilística que contendría la causalidad serial estricta como un caso particular... Esta es la función de la ciencia estocástica... [los] estudios 'Estocásticos'... las leyes de los números largos... las leyes de eventos extraños, los diferentes procedimientos aleatorios, etc... son las leyes de un pasaje que va del completo orden al desorden total en un continuo o de manera explosiva.<sup>25</sup>

Notablemente los procesos compositivos se ven permeados por la creciente complejidad del enfoque cibernético que tiene como objetivo el

---

24 Idem. pp. 12-13.

25 Xenakis, Iannis *Formalized music*, New York, Pendragon Press, 1992 pp 8-9.

control y la comunicación del ser humano, los animales y las máquinas que son sistemas abiertos que se autorregulan frente a la realidad cambiante adecuando su comportamiento para lograr sus objetivos. Es desde esta creciente complejidad que la tecnología y más específicamente la creación de software generan nuevos métodos de composición que son asistidos directamente por la computadora. Lajaren Hiller fue un pionero en el uso de sistemas de composición asistida por computadora. En 1956 Hiller y Leonar Isaacson con la ayuda de la computadora ILLIAC<sup>26</sup> generan composiciones en diferentes estilos musicales. En sus experimentos emplean la programación de reglas tales como lo que está permitido, lo que está prohibido, lo que es requerido, reglas de polifonía, estructuras, técnicas seriales, cadenas de Markov y secuencias de parámetros aleatorios dependientes para posteriormente organizar los eventos con procedimientos de azar. El trabajo con procesos algorítmicos les permitió componer *Iliac Suite* para cuarteto de cuerdas, que es considerada como la primer obra compuesta completamente con la asistencia de una computadora.<sup>27</sup> Un pionero en la música creada por computadora, Gottfried Michael Koenig, elabora en 1963 *Projekt 1* —un software de composición basado en el pensamiento serial de Schoenberg y en generadores de procedimientos aleatorios—, con la idea de ayudar resolver problemas de análisis musical y composición. Inspirado en los sistemas musicales de Hiller, John Cage crea junto con él en 1969 la obra *HPSCHD*, para siete clavecines amplificadas y 208 pistas —generadas por computadora— para una y hasta 52 “máquinas monoaurales amplificadas”.<sup>28</sup> Los clavecinistas interpretan aleatoriamente la música de compositores como

---

26 Computadora automática de Illinois. Fue una serie de cinco supercomputadoras construidas a lo largo de los 50s y 70s en varias universidades de Estados Unidos.

27 Supper, Martin. A few remarks on algorithmic composition. *Computer Music Journal* 25, 1 (2001), 48-53.

28 Cage, Hiller, Program for the premiere performance of HPSCHD at University of Illinois, 1969.

Mozart<sup>29</sup>, Beethoven, Chopin, Schumann, Gottschalk, Busoni, Schoenberg, Cage y Hiller. Las particellas fueron creadas con el lenguaje de programación Fortran (Formula Translating System) empleando los hexagramas del I Ching a partir de los cuales recombinan los materiales musicales. La premiere de la obra —que duró cerca de cinco horas— fue concebida como una “experiencia multimedia altamente inmersiva”; ya que cada clavecín estaba amplificado, había 52 canales monoaurales dispersos en el campus de la universidad de Illinois, acompañados por una serie de 6400 diapositivas y 40 películas tomadas de la NASA, proyectadas en 64 proyectores.

Posteriormente la atención de muchos artistas se vio enfocada en el uso del bio-feedback; que es una técnica que permite monitorear y regular en tiempo-real los mecanismos biológicos de un ser orgánico mediante sistemas de realimentación. Los datos recogidos del monitoreo son trasladados a manifestaciones visibles o audibles a partir de las cuales se detectan funciones biológicas en el individuo analizado. En el campo del arte sonoro y la música, Alvin Lucier es pionero en el uso del bio-feedback con su obra *Music for Solo Performer* (1965). A través de un estado de meditación profundo Lucier es capaz de emitir ondas alfa a un electroencefalograma, unos amplificadores se encargan de enviar las señales a varias bocinas que están pegadas boca abajo a las membranas de diferentes instrumentos de percusión produciendo golpes y vibraciones constantes. Eaton plantea que a través del monitoreo de señales eléctricas emitidas por el cerebro, “podemos acumular una gran cantidad de información acerca del estado de la consciencia —la actividad mental, la percepción [de estímulos] de audio y video, y el estado emocional del sujeto. A través de la estimulación sensorial

---

29 El juego de dados musical de Mozart fue por cierto una de las obras interpretadas en HPSCHD.

y eléctrica en ciclos de realimentación en tiempo-real, podemos llegar a controlar estos estados”.<sup>30</sup>

Los estudios sobre gramática generativa de Noam Chomsky los cuales proponen la formalización del lenguaje para generar oraciones sirven como base para que el botánico Aristid Lindenmayer desarrolle en 1968 sus *L-systems* (sistemas de Lindenmayer) para modelar el crecimiento de algas. Los L-systems son generados por medio de la iteración recursiva de reglas relativamente sencillas que generan resultados emergentes altamente complejos, estas características son capaces de generar estructuras autopoieticas o auto-similares. A partir de los años 80s los artistas comienzan a mostrar interés por estas formas sistémicas para crear proyectos noveles generados por macro-estructuras autopoieticas. En música se han utilizado los L-systems no solo para generar estructuras sino también para la parametrización de los componentes musicales.<sup>3132</sup>

En 1981 encontramos los EMI (Experiments in musical intelligence), experimentos basados en sistemas de inteligencia artificial musical de David Cope; él desarrolla un programa —basado en estrategias complejas de recombinación— capaz de realizar análisis complejos de un corpus musical para “abstraer” el estilo de varios compositores y crear nuevas composiciones a partir del mismo estilo analizado. Por medio de la transformación parcial y la recombinación del corpus analizado logra realizar composiciones en el estilo de Vivaldi, Bach, Mozart, Beethoven, Messiaen, entre otros. Más adelante crea una interfaz interactiva llamada Emily Howel basada en EMI, la cual es capaz de generar sus propias composiciones en su

---

30 Eaton, L. Manford, *Bio-Music*, Something Else Press, 1973. pp. 7-8.

31 Supper, Martin. A few remarks on algorithmic composition. *Computer Music Journal* 25, 1 (2001) p. 50.

32 Nierhaus, Gerhard, *Algorithmic Composition*, Germany, SpringerWien NewYork, 2009, p. 138.

propio estilo musical, a través del aprendizaje y la retroalimentación que recibe de su creador. En 2010 Emily Howel logró sacar su primer disco integrado de composiciones para orquesta de cámara y múltiples pianos.<sup>33</sup>

Otras prácticas en los años 80s y 90s de música generativa creada con plataformas basada en síntesis de audio en tiempo-real y lenguajes de programación dinámicos como SuperCollider, Pure Data, Processing, IxiLang, OpenFrameworks, Max/MSP etc, han sido parte de una “nueva era” en la creación musical, la investigación acústica, la música algorítmica y la programación interactiva.<sup>34</sup> La facilidad de acceso y adquisición a estos lenguajes de programación han significado un cambio de paradigma grandísimo respecto a las formas antiguas —en los años 60s— de procesamiento y generación sonora, en donde los compositores tenían que recurrir a un laboratorio de sonido en alguna universidad y esperar días enteros para poder escuchar los resultados del procesamiento sonoro. Courtis Roads se pregunta si actualmente nos encontramos en “la época dorada” de la creación musical por computadora, y al respecto piensa que solo el tiempo lo podrá decir y que nos falta un gran camino por recorrer. Lo que sí es un hecho es que el tiempo requerido para el de procesamiento de información y datos sonoros se ha acertado impresionantemente en los últimos 10 años con los avances de la nano-tecnología implementada en los microchips de las computadoras.

Prácticas que priorizan la creación de música generativa en tiempo real como el live-coding se enfocan en la construcción de sistemas interactivos que puedan ser manipulados y reprogramados en vivo —on-the-fly—. En este tipo de prácticas con sistemas interactivos el gesto de la intervención humana está casi siempre presente en el proceso haciendo uso

---

33 Idem. p. 123.

34 Wilson, Scott; Cottle, David; Collins, Nick, *The SuperCollider Book*. The MIT Press, 2011.

de interfaces de comunicación entre el “mundo real” y la máquina. Por lo tanto, carece de un carácter puramente automatizado, que permite intervenir en tiempo-real al sistema generativo con el que se está trabajando.

Finalmente en la década de los 90s y los 2000s ha habido un tremendo boom en el campo de las artes visuales y la música por el uso de los diferentes enfoques de las ciencias de la complejidad; la teoría general de sistemas, la cibernética, la teoría de los sistemas adaptativos complejos, la teoría de los sistemas no lineales, la teoría de los sistemas auto-organizados, la teoría de redes, la teoría del caos, la geometría fractálica, entre otros, y las características de un sistema; las propiedades emergentes, la auto-organización, la segregación, la realimentación, la homeostasis, el aprendizaje, la adaptación, la evolución, la resiliencia, etc.

Como hemos visto a lo largo de este breve repaso histórico, el arte de la complejidad en la música ha estado presente por lo menos en el último milenio de la tradición musical occidental en mayor o menor medida. Lo que procede a continuación en esta tesis es analizar, cuestionar y criticar obras contemporáneas basadas en el enfoque de las ciencias de la complejidad para vislumbrar cómo es que dicho enfoque es entendido actualmente y cuáles son las implicaciones y las nuevas aportaciones que se han realizado teniendo el marco histórico anterior como principal referencia.

## Capítulo 2

### Ciencias de la complejidad, música o arte sonoro

#### 2.1 Definición y orígenes de las ciencias de la complejidad: Contexto histórico

¿Qué son las ciencias de la complejidad? Científicos de todo el mundo han trabajado más o menos desde hace 50 años con temas relacionados con las ciencias de la complejidad (aunque no lo llamen así, ya que no hay un consenso sobre cómo definir un sistema complejo).<sup>35</sup> En 1948 el científico americano Weaver W. escribió un texto de divulgación científica llamado *Ciencia y complejidad* en el que dice que antes del siglo XX la ciencia estaba básicamente preocupada en problemas relativamente simples de dos variables como la temperatura y la presión; la población y el tiempo; la producción y el comercio, etc.<sup>36</sup> A partir del siglo XX la ciencia desarrolló herramientas estadísticas y de probabilidad que permitieron modelar problemas con un gran número de variables. Después se comenzó a notar que los problemas sociales y naturales no son solo simples ni de promedios estadísticos, sino que son sistemas que exhiben una complejidad altamente organizada y no cumplen con los supuestos básicos de los modelos

---

35 Seth Lloyd. Measures of complexity: a nonexhaustive list. IEEE Control Systems. Aug; 21 (4): 78

36 CEPAL Charlas Sobre Sistemas Complejos Sociales (CCSSCS): serie de 9 videos en línea sobre la ciencia de los sistemas complejos sociales; <http://www.martinhilbert.net/CCSSCS.html>



anteriores “ ...tratando simultáneamente con un número considerable de factores los cuales están interrelacionados en un todo orgánico... no pueden ser trabajados con técnicas estadísticas tan efectivas para describir un comportamiento promedio...”<sup>37</sup>. Lorenz Edward, por ejemplo, al estar trabajando con la relación no lineal de la velocidad del viento, la presión atmosférica y la temperatura, se dio cuenta no solo de la precariedad de los modelos estadísticos tradicionales, sino descubrió que al introducir ligeros cambios al modelo, se producían resultados completamente diferentes. Esto lo llevó a plantear la teoría del caos, la cual sintetiza con la pregunta: *¿El aleteo de una mariposa en Brasil puede originar un tornado en Texas?* La teoría del caos dice que los sistemas dinámicos son altamente sensibles a las condiciones iniciales, por lo tanto, aunque se conozcan todos y cada uno de los estados por los que un sistema caótico transita, sería imposible predecir su trayectoria ya que el más mínimo cambio en las condiciones iniciales pueden alterar gravemente el comportamiento de un sistema produciendo cambios completamente impredecibles<sup>38</sup>.

En 1984 surge formalmente en el instituto Santa Fe el enfoque de los sistemas complejos, permeado de múltiples teorías y enfoques que a través de una colaboración transdisciplinaria permiten generar profundos análisis de sistemas de complejidad organizada. Algunos ejemplos de las teorías y enfoques que retoman las ciencias de la complejidad son: la teoría general de sistemas, la cibernética, la teoría de los sistemas adaptativos complejos, la teoría de los sistemas no lineales, la teoría de los sistemas auto-organizados, la teoría de redes, la teoría del caos, la geometría fractálica, entre otros.

---

37 Wever W. Sience and Complexity. American Scientist. 1948, 36:536-544.

38 Sergio, Morales, ¿qué son las ciencias de la complejidad?, The University of Warwick, Estrasburgo, Francia, 2012

Las ciencias de la complejidad se enfocan en estudiar fenómenos sistémicos de carácter indeterminista e impredecible y parten de la idea anti reduccionista de que el todo es más que la suma de sus partes individuales. Si descompusiéramos un sistema complejo en muchos elementos, obtendríamos varios niveles de organización y un gran número de componentes relativamente simples e interdependientes, sin necesariamente cobrar consciencia del sistema mayor al que pertenecen. Estos componentes al interactuar e intercambiar información son capaces de producir resultados completamente inesperados e impredecibles causados por la diversificación y la realimentación que el sistema recibe del ambiente o entorno contextual, tales como: las propiedades emergentes (surgimiento, aparición), la auto-organización, la segregación, la retroalimentación, el aprendizaje, la adaptación, la evolución, la resiliencia, etc. Algunos ejemplos de sistemas complejos son: la organización de diferentes átomos que en condiciones adecuadas son capaces de generar moléculas, el sistema esquelético humano, los sistemas de órganos del cuerpo, los sistemas naturales de nuestro planeta, la organización social, los sistemas políticos y económicos de un país, las redes sociales, Internet, el sistema solar, etc.

Propiedades de los sistemas complejos:

Los integrantes (agentes) de los sistemas complejos comparten características comunes tales como:

- Conexiones
- Interdependencia
- Diversidad

- Adaptación
- Dependencia a su historia
- Emergencia

Por otro lado, Yaneer Bar-Yam<sup>39</sup> define a las ciencias de la complejidad como el estudio de sistemas con múltiples componentes interdependientes. Melanie Mitchell propone que un sistema complejo es un sistema en el que extensas redes de componentes carentes de un control centralizado y con reglas de operación relativamente simples, son capaces de generar comportamientos colectivos complejos, que a través de instrumentos perceptuales pueden procesar la información del entorno para adaptarse y/o evolucionar mediante el aprendizaje adquirido.

## 2.2 Ciencias de la complejidad y arte generativo. Procesos y proyectos actuales de creación sonora y musical

La complejidad se encuentra en el ámbito del orden desordenado en donde agentes autosuficientes y autorregulados interactúan en un medio caótico, generando el surgimiento de pautas sistémicas globales coherentes. Por un lado, los sistemas ordenados se caracterizan por poseer procesos de razonamiento lógico y estructurado que son de alguna manera predictibles, como son las series, secuencias, proporciones numéricas, las permutaciones o la combinatoria, la estadística, etc. Por otro lado, los sistemas desordenados se caracterizan por estar dotados de estructuras que

---

<sup>39</sup> Científico estadounidense fundador y presidente del Instituto de Sistemas Complejos de Nueva Inglaterra

tienden a lo impredecible y la desorganización, como la estocasticidad, la aleatoriedad y aspectos relacionados con la teoría de caos.<sup>40</sup>

Los sistemas generativos, tienen tres tipos de propiedades; pueden ser ordenados, desordenados o complejos. Como ya mencionamos, Los sistemas complejos serían aquellos compuestos por la suma de varias características (orden y desorden), esta composición estructural resulta en algo mucho más grande que la suma de sus partes individuales, y la interacción de los elementos del sistema pueden producir fenómenos como la emergencia, la autorregulación, la homeostasis, etc. Son estas propiedades las que entretujan el puente que encuentro entre el arte generativo y las ciencias de la complejidad. Sin mencionar que en la actualidad son muchos los proyectos, obras e iniciativas que sugerirían tener una relación estrecha con el enfoque de las ciencias de la complejidad, ya sea en el modo de construir sus plataformas de trabajo, presentar sus resultados, construir sus conclusiones o análisis. No obstante, estos no suelen enmarcarse todavía bajo este enfoque, con el cual sería posible definir, desde múltiples ángulos, sus características y aspectos formales e incluso construir conclusiones más interesantes.

Por otro lado, en el campo del arte generativo es donde mayormente se han realizado análisis en los que podemos encontrar rasgos comunes entre diferentes obras que han permitido —de alguna forma— sistematizar las variantes más generales que engloban dichas prácticas.

Partiendo de proyectos recientes que considero relevantes y que de una u otra forma son de mi particular interés, en esta investigación retomo las categorías propuestas por los análisis que diferentes autores del campo del arte generativo han propuesto. Además de integrar una tipología más

---

<sup>40</sup> Un ejemplo sería el péndulo doble compuesto, constituido por un péndulo enganchando a otro péndulo cuya interacción genera un comportamiento completamente aleatorio.

amplia —usando algunos conceptos de las ciencias de la complejidad— que permitirán contemplar la genealogía de los proyectos. Algunos de éstos podrían clasificarse entre dos o más de las categorías planteadas, sin embargo, en los proyectos hay alguna característica más presente que otra(s) y que consideraré perteneciente sólo a una categoría específica. Otros proyectos que tienden más a la evidente mezcla de categorías estarán en la sección de sistemas híbridos.

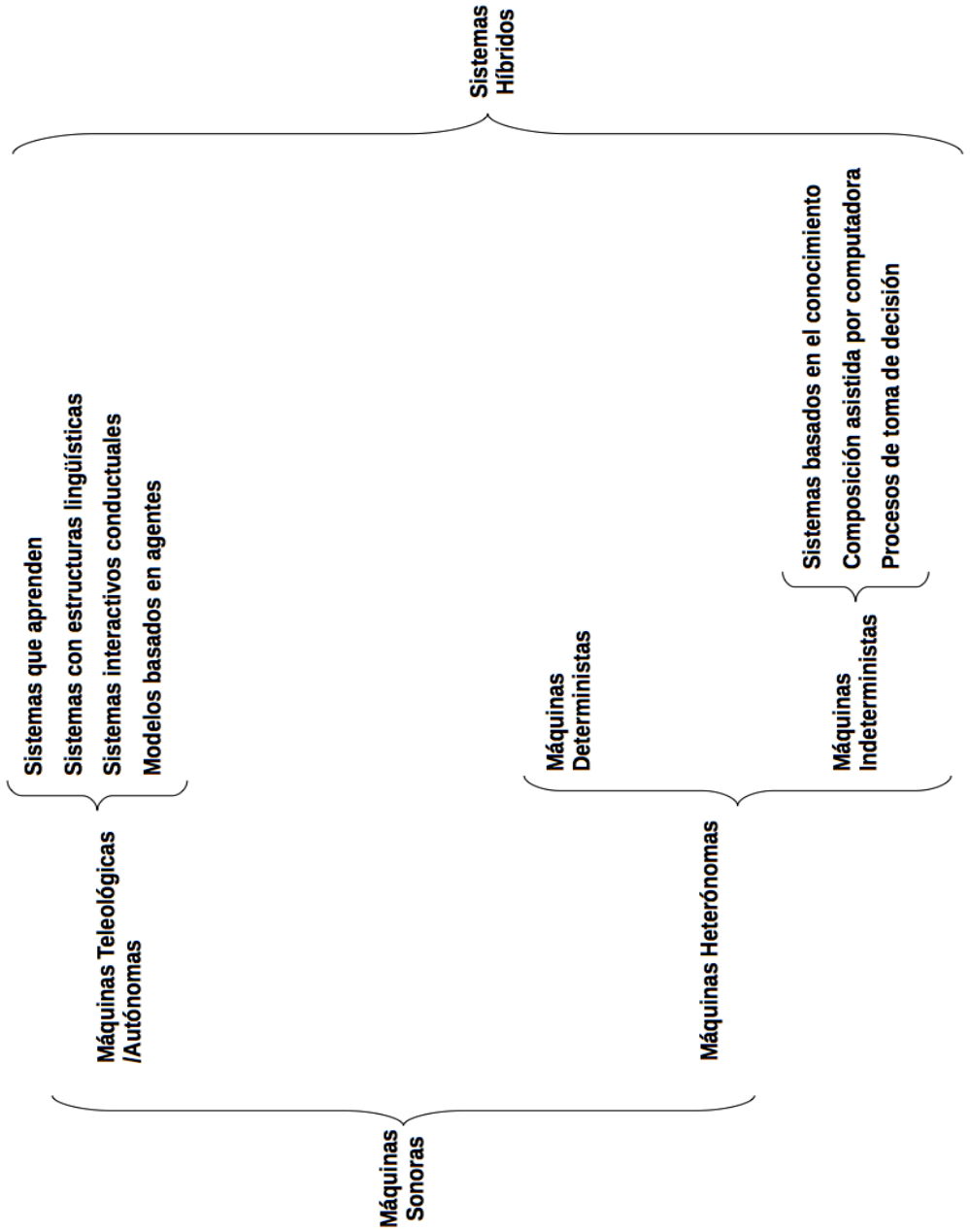
### 2.3 Tipología de las máquinas sonoras

Las máquinas sonoras son entidades acústicas dotadas de algún mecanismo lógico y estructurado que les permite realizar una operación predeterminada para producir un resultado emergente más o menos controlado (música o sonido) de acuerdo con los objetivos de su creador. Las máquinas sonoras pueden estar constituidas por elementos puramente mecánicos o ser programadas electrónicamente. En el siguiente apartado se propone realizar una tipología que permita observar de manera más amplia las características principales de los distintos tipos de máquinas sonoras que hasta ahora he encontrado para realizar esta tesis. En esta tipología solo nos concentraremos en estudiar el segundo tipo de máquinas sonoras (las programadas electrónicamente).

Los criterios de clasificación empleados en el siguiente apartado parten de dos grandes vertientes, en un primer nivel se encuentran las máquinas causales o algorítmicas y las máquinas teleológicas. Las máquinas causales o algorítmicas, tienen un comportamiento basado en la ejecución de tareas simples sin la necesidad de plantearse un objetivo o tarea determinada por ellas mismas. Las máquinas teleológicas por otro lado,

están dotadas de características ligadas a la Inteligencia artificial, son capaces de fijarse sus propios objetivos o sus propias metas a partir de cierta programación que les permite explorar estas capacidades. De estas dos grandes vertientes se despliegan las siguientes categorías:

# Tipología de las máquinas sonoras



### 2.3.1 Máquinas teleológicas

Sería difícil pensar en una máquina que posea cualidades completamente teleológicas o sea que puede tomar decisiones y fijarse sus propias metas y objetivos. Sin embargo, hay algunas máquinas que son capaces de definir sus propios objetivos mediante la programación que les ha sido asignada. Pudiendo de esta forma tomar sus propias decisiones, tales como modificar o regular sus estados internos a través de procesos homeostáticos o modificar por ellas mismas su estructura y su programación.

Actualmente existen máquinas que poseen sistemas de agentes autónomos e inteligentes dotados de mecanismos homeostáticos que les permiten recibir, procesar, analizar y reaccionar ante los estímulos de la realidad física mediante la modificación y la regulación de sus estados internos para adaptarse de forma óptima y cumplir con sus objetivos.

Estaríamos hablando entonces de inteligencia artificial. Éste es un término acuñado en 1956 por John McCarthy, el cual lo define como “la ciencia y la ingeniería de hacer máquinas”. Las características estructurales de estas máquinas son muy diversas, parten de la programación de sistemas de razonamiento lógico, redes neuronales artificiales, algoritmos genéticos, reconocimiento de formas, figuras, lugares, sonidos, temperatura, lenguajes, escritura, etc. Los usos que actualmente se le dan a este tipo de máquinas son tan variados como los podemos imaginar; han sido empleadas en la creación de armas letales, robots exploradores del espacio, en la solución de problemas específicos, como la planeación, la automatización, el control de procesos biológicos, químicos, estadísticos, físicos, económicos etc. Otras aplicaciones se centran en el uso de herramientas concretas, el perfeccionamiento de sistemas complejos y en el cumplimiento de



aplicaciones particulares como por ejemplo diagnosticar a un paciente enfermo o hacer música.

La prueba de Alan Turing dice que cuando verdaderamente exista inteligencia artificial no seremos capaces de distinguir si estamos hablando con una computadora o con un ser humano al tener una conversación a ciegas. En el año 1964 Joseph Weizenbaum a través de este principio creó ELIZA un sistema experto orientado a simular conversaciones psicoterapéuticas y una de las primeras máquinas capaces de procesar lenguaje natural. Ésta almacena las respuestas que el usuario o el programador le dan y usa patrones de comparación simple, palabras clave o frases en sus entradas para crear respuestas pudiendo generar una especie de “entendimiento virtual”. De esta forma ELIZA es capaz de conducir una conversación de maneras nunca antes vistas por un programa de computadora. ELIZA usa las siguientes estrategias para simular las conversaciones psicoterapéuticas:

- Identificación de palabras clave en el texto introducido por el usuario.
- Descubrimiento de un contexto mínimo de palabras clave particulares.
- La decisión de reglas apropiadas para transformar el contexto de la entrada en el contexto correspondiente de la salida.
- Generación de respuestas generales e incontrovertibles ante la ausencia de palabras clave apropiadas.<sup>41</sup>

---

<sup>41</sup> Nierhaus, Gerard, *Algorithmic Composition, Paradigms of Automated Music Generation*, SpringerWien NewYork, Mörlenbach, Germany, 2009, p. 226

Algunos usuarios realmente han llegado a creer que están hablando con un humano debido al “entendimiento” que parecería tener el programa.. Este tipo de programas se han catalogado como *chatterbots* y actualmente hay bastantes en la red e incluso en aplicaciones adroid o iOS a los cuales se puede acceder y entablar una muy extraña conversación.<sup>42</sup>

Nierhaus comenta en su libro *Composición algorítmica* que el ejemplo de ELIZA muestra un comportamiento inteligente a pesar de que el programa no necesariamente está construido con algoritmos basados en inteligencia artificial, y que en un sentido tautológico todos los programas usados para resolver tareas determinadas relacionados con inteligencia artificial deberían ser considerados como tal.

Si los procesos de generación de estructuras musicales coherentes son entendidos como “inteligencia composicional”, entonces algunos de los procedimientos ya empleados de la composición algorítmica deberían de ser clasificados también como métodos de inteligencia artificial.<sup>43</sup>

Esta afirmación solo podría ser válida si definimos específicamente a qué tipo de máquina e inteligencia nos referimos y qué es lo que se define al hablar de inteligencia. Además, revisar las diferentes posturas e intereses que existen tanto para las ciencias de la inteligencia artificial, las ciencias cognitivas, las ciencias sociales, la filosofía la biotecnología e incluso el arte y la música.

---

42 Mauldin, Michael (1994), "ChatterBots, TinyMuds, and the Turing Test: Entering the Loebner Prize Competition", *Proceedings of the Eleventh National Conference on Artificial Intelligence*, AAAI Press, retrieved 2008-03-05 (abstract)

40 Nierhaus, Gerard, *Algorithmic Composition, Paradigms of automated music generation*, SpringerWien NewYork, Mörlenbach, Germany, 2009, p. 227

Podríamos decir que una máquina inteligente sería capaz de actuar siguiendo un propósito y que piensa racionalmente para interactuar de manera efectiva y generar un equilibrio homeostático con su ambiente. Avron Barr y Edward Feigenbaum consideran que la inteligencia artificial es un campo de las ciencias de la computación con el propósito de diseñar sistemas computacionales inteligentes, capaces de exteriorizar las particularidades de la inteligencia humana y su comportamiento en el ambiente natural. La cuestión aquí es si realmente las máquinas pueden pensar de manera que actúen de forma autónoma y ajustarse a los nuevos retos y condiciones que la vida plantea.<sup>44</sup>

Pero entonces ¿la programación basada en inteligencia artificial podría ser un sinónimo de teleología? ¿puede una máquina pensar como pensamos los humanos? ¿realmente pueden existir máquinas que a través de su “sentir” del mundo físico puedan llegar a definir sus propias metas y objetivos? ¿puede una máquina tener mente, cambiar sus estados mentales o tener conciencia al igual que nosotros? ¿o será más bien que no dejan de ser máquinas deterministas con algunos rasgos de autonomía o de toma de decisiones dentro su programación que les permite optar por realizar ciertas rutinas previamente fijadas?

Considero importante dejar sobre la mesa esta discusión a manera de reflexión ya que hablar actualmente de máquinas teleológicas entra en el campo de la ciencia ficción, en donde inicialmente los cyborgs emergen de la fusión y la interrelación humano/máquina, para posteriormente crear seres autónomos y consientes alimentados por las redes energéticas de millones de bits de información. La máquina teleológica sería una categoría ideal

---

<sup>44</sup> Nierhaus, G. *Algorithmic Composition, Paradigms of Automated Music Generation*, SpringerWien NewYork, Mörlenbach, Germany, 2009, pp. 229-228.

dentro de esta clasificación de máquinas sonoras y que va mucho más allá de los paradigmas y capacidades tecnológicas actuales.

### 2.3.2 Máquinas autónomas

En teoría serían aquellas que podrían ejecutar de manera autónoma, metas u objetivos seleccionándolos de acuerdo con ciertos criterios de programación, basados en la inteligencia artificial.

El concepto de autonomía proviene del griego auto que significa uno mismo y nomos ley, es la capacidad de un individuo para darse sus propias reglas. Es un concepto fundado en la política, la moral, la ética y la filosofía. puede tener muchos significados de acuerdo al contexto en el que este enmarcado; en el marxismo corresponde al conjunto de teorías, de movimientos sociales y políticos de izquierda y anti-autoritarios existentes dentro de un régimen autoritario. En filosofía contempla el problema de la responsabilidad o la libertad como un valor de la conciencia que le permite al ser humano reflexionar sobre la consecuencia de sus actos, vinculándolo a si mismo con la sociedad. En los ámbitos computacionales la autonomía es entendida como el tiempo que un dispositivo puede funcionar independientemente, sin una fuente de alimentación directa, funcionando directamente con baterías. Sus características desde el punto de vista de la robótica son:

- Obtener información sobre el medio ambiente
- Actuar o trabajar por periodos extensos sin la intervención humana

- Moverse por sí mismas en el ambiente operativo sin la intervención humana
- Evitar situaciones que pueden ser peligrosas para sí mismas, para las personas o propiedades, a menos que estén diseñadas para cumplir ese propósito

Hasta el momento no he encontrado los proyectos adecuados de máquinas autónomas con las mismas características arriba citadas que puedan crear música o sonido y que se ajusten totalmente a este paradigma. Lo que sí he encontrado son las formas de aproximarse al concepto de inteligencia y de cómo éste puede ser emulado para la solución de problemas específicos, como es el caso de ELVIRA o EMI de David Cope. Estaríamos hablando de composición basada en redes neuronales artificiales, autómatas celulares, aprendizaje, modelos basados en agentes, y razonamiento, estas técnicas son utilizadas en lo que también podemos nombrar como composición algorítmica.

Las máquinas autónomas considerando aquellas que presentan ciertos rasgos de inteligencia artificial se subdividen en:

- a) Métodos/algoritmos evolutivos (sistemas biológicos emergentes)
- b) Sistemas que aprenden
- c) Sistemas con estructuras lingüísticas o gramáticas
- d) Sistemas interactivos conductuales/funcionales (interacción con el ambiente)
- e) Modelos basados en agentes/denominación estructural (interacción sin ambiente externo)

### 2.3.3 Métodos/algoritmos evolutivos (sistemas biológicos emergentes)

Estos métodos evolutivos aplicados en la composición musical, parten de la idea de generar música no-determinista o que solo puede ocurrir de formas diferentes cada vez que es interpretada. Esta perspectiva toma forma a partir del arte generativo. La composición se construye a partir de una búsqueda heurística<sup>45</sup> que trata de imitar procesos naturales evolutivos que pueden incluir la mutación, la selección natural, la recombinación y la reproducción. Los procesos y algoritmos utilizados son capaces de producir de manera autónoma e interminable diferentes variaciones. Finalmente, el resultado del proceso es criticado o evaluado por el artista/programador/ usuario generalmente a través de procesos interactivos con el propósito de controlar la calidad, la estética y la forma de las composiciones.

Los algoritmos evolutivos son una rama de la computación evolutiva basada en algoritmos meta-heurísticos aplicados en la optimización y el perfeccionamiento de un sistema. A través de una población basada en agentes se busca la solución a diferentes problemas usando técnicas capaces de determinar la calidad de los resultados generados (nivel de aptitud). Cada agente puede ser programado usando la heurística, aleatoriamente o bien estar basado en una solución anterior. La representación genética o del genotipo es descodificada y aplicada a la solución de un problema que es el fenotipo. De manera que puedan ser posteriormente evaluados para medir su nivel de aptitud. La evolución de los agentes es creada por medio de la

---

<sup>45</sup> Heurística: técnica de los campos de las ciencias de la computación, inteligencia artificial, optimización, que sirve para resolver un problema o aproximarse a una solución cuando los métodos clásicos fallan.

heurística que es iterada de manera rutinaria hasta generar individuos altamente adaptados al medio y de esta forma encontrar las soluciones más útiles para un determinado problema. Dentro de los procesos de iteración se emplean criterios aleatorios o estocásticos que son decisivos para que este método tenga éxito. De esta manera surge también la rama de la evolución artificial basada en algoritmos evolutivos individuales.<sup>46</sup> Alan Turing advirtió que la evolución artificial haría posible el surgimiento de una metodología para el desarrollo de máquinas adaptativas, capaces de heredar su aprendizaje y su estructura a otras máquinas, descendientes de las mutaciones que formaron a través de los genes artificiales. Los mecanismos de selección “natural” serían los encargados de favorecer el surgimiento de máquinas nuevas y mejor adaptadas al entorno.<sup>47</sup> La mayoría de los algoritmos evolutivos están basados en los mismos elementos que componen la evolución natural: población, diversidad dentro de la población, mecanismos de selección del más apto y herencia genética.<sup>48</sup>

---

<sup>46</sup> Husbands, P. et al. An Introduction to evolutionary computing musicians, en Reck Miranda E. Et al. Evolutionary computer music, NY: Springer, 2007, p. 4.

<sup>47</sup> Turing, A.M. (1950). Computing machinery and intelligence. Mind LIX (236): 433-460.

<sup>48</sup> Hoydahl, J. Evolutionary music composition: a quantitative approach. Trondheim: Norwegian university of science and technology, 2011, p 19.

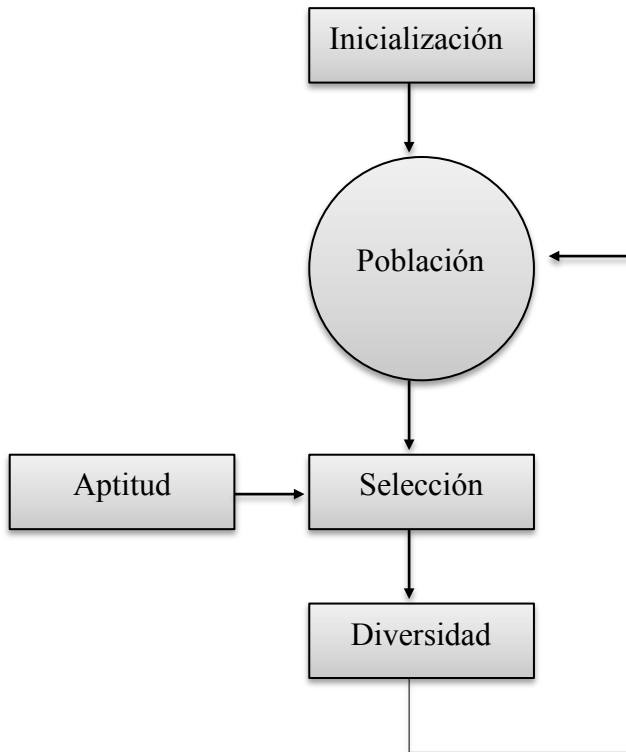


Diagrama de evolución artificial/método evolutivo

Un ejemplo sería el proyecto de computación evolutiva aplicada a la síntesis sonora, de James McDermott et al. que podría definirse como la optimización estética del timbre de un sintetizador. Ellos emplean los números de punto flotante al genotipo que podría ser la entrada de los parámetros de control del sintetizador, y posteriormente generar un fenotipo que consiste en el timbre de salida. La aptitud es incorporada a través de la apariencia estética del sonido y evaluada de manera interactiva por el usuario, también se pueden ajustar los resultados a las medidas



estéticas programadas. Los mejores timbres serán seleccionados y recombinados para generar nuevos genotipos, que pueden ser transformados a través de pequeñas alteraciones aleatorias. De manera que los genotipos funcionan como parámetros de control en el sintetizador y los fenotipos como los nuevos timbres que tienden a ser más atractivos estéticamente.<sup>49</sup>

Otro ejemplo de composición basada en métodos evolutivos es la *Sinfonía Viral* de Joseph Nechvatal, es un trabajo colaborativo de música *noise* programado en el software C++ que explora formas de inteligencia artificial a través de un modelo que simula fenómenos virales.<sup>50</sup>

#### 2.3.4 Sistemas que aprenden

Una máquina que aprende sería aquella que no tiene un criterio o preferencia específica sobre la base de datos almacenada y de esta forma puede recolectar información por sí misma a través de un ejemplo o material otorgado por el usuario/ programador/compositor. El material procesado puede ser depositado en una pieza musical o ser ejecutado en tiempo-real, manteniendo cualidades similares al material del ejemplo captado por la(s) máquina(s). Este método de composición algorítmica está ligado a prácticas como la improvisación automática, la composición algorítmica de un estilo específico a partir de las técnicas mencionadas en el párrafo anterior.

Marchini and Purwins presentan el proyecto de *generación sin supervisión de secuencias sonoras de percusión a partir de un ejemplo*. Es un

---

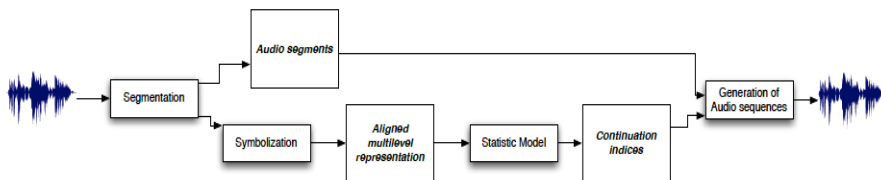
<sup>49</sup> McDermott J. Et al. Creative Transformations: How Generative and Evolutionary Music can Inform Music HCI

<sup>50</sup> Extraído de [https://en.wikipedia.org/wiki/Viral\\_symphony](https://en.wikipedia.org/wiki/Viral_symphony) 21 de oct. de 2015.

sistema capaz de aprender patrones rítmicos de grabaciones de baterías y sintetizar variaciones musicales a partir de la secuencia escuchada. El procedimiento es ejecutado de manera completamente autónoma y sin supervisión humana. Básicamente el procedimiento consiste en la fragmentación, la simbolización (extracción de características, *clustering*, análisis estructural de secuencia, alineación temporal) y la síntesis. Un procedimiento de estimación de tempo es utilizado para conservar la unidad métrica, la asignación del tempo está basada en los clusters más regulares obtenidos de la grabación. El sistema es capaz de generar secuencias rítmicas respecto a la estructura original que van desde ritmos básicos hasta patrones rítmicos muy complejos. Finalmente, empleando cadenas de Markov de longitud variable, se incorpora la transcripción de una secuencia en una representación difusa. El resultado final es interpretado a través de la recombinación del material de audio derivado de las muestras de audio. Para obtener una amplia variedad de estilos musicales las características iniciales del fragmento musical son preservadas, aplicando variaciones considerables para generar la nueva secuencia. Las críticas que tuvo el proyecto directamente de percusionistas profesionales fue que el sistema carece de la habilidad de interpretar niveles dinámicos, agógicos y de fraseo, características que no fueron desarrolladas en el proyecto, pero que son características que piensan seguir desarrollando a través de un análisis métrico no-binario.<sup>51</sup>

---

<sup>51</sup> Marchini, M., Purwins, H. Unsupervised generation of percussion sound sequences from a sound example, 2010, Universitat Pompeu Fabra.



Arquitectura general del sistema de generación de secuencias sonoras

### 2.3.5 Estructura lingüística o gramática

A través del estudio del lenguaje, Noam Chomsky propone su teoría de gramática generativa, donde plantea detectar patrones coherentes que permitan entender de una forma lógica la manera en la que está articulada una oración, y así poder construir una misma idea con diferentes palabras y varias ideas con una multitud de combinaciones de palabras. Chomsky también considera necesario para el procesamiento, la transformación y el reordenamiento de los elementos de un sistema gramatical, tener un conocimiento profundo de la información y de su estructura constitutiva.<sup>52</sup> La “teoría generativa de música tonal” de Lerdahl y Jackendoff ha sido también una base importante ya que parte del estudio de las “bases psicológicas de las estructuras jerárquicas concebidas en la teoría y la práctica de la música tonal, y cómo han influenciado significativamente a la formalización de la música en general”<sup>53</sup>.

La música basada en estos métodos de creación se remonta —como ya habíamos mencionado anteriormente— al uso del lenguaje tonal en su

52 Chomsky, N, Three models for the description of language. Massachusetts, MIT, 1956, pp. 113-124.

53 Wooller, R, et al. A framework for comparison of process in algorithmic music systems, Sydney, Generative Arts Practice, Creativity and Cognition Studios Press, pp. 109-124.

forma más estructural, en donde podemos encontrar un alto grado de coherencia melódica y armónica debido a las antiquísimas formas de organización jerárquica de los grados de la escala, grabadas en la memoria musical occidental. La característica central en los modelos musicales basados en un sistema lingüístico es la creación de constructos teóricos y analíticos que sean lo suficientemente explícitos para generar patrones o estructuras reconocibles y así crear música. Por lo general usan reglas de composición capaces de concebir macro-niveles en vez de pensar en unidades individuales, por ejemplo, optan por una estructura armónica en vez de alturas individuales, o prefieren trabajar con células rítmicas en vez de trabajar con las divisiones rítmicas individuales.

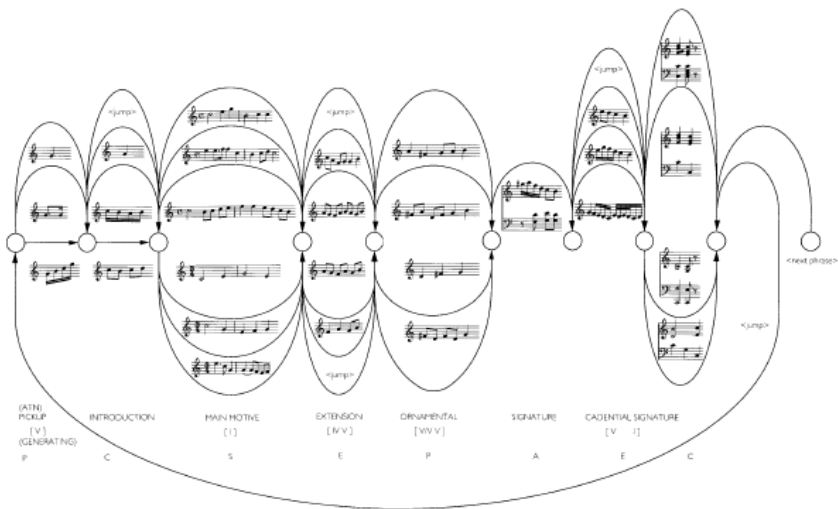
Basado en este principio de organización y recombinación gramatical, David Cope desarrolla EMI en 1981 con el objetivo de recrear composiciones en diversos estilos musicales. Cope tiene dos formas de integrar la información a su sistema EMI; una de forma manual que integra la estructura global de la música analizada por el sistema y otra usando redes de transiciones aumentadas, (ATN, augmented transition network). Estas son capaces de representar dentro de un esquema gráfico la estructura de enunciados a través de “la sustitución de un objeto por otro objeto perteneciente a un nivel jerárquico más alto”<sup>54</sup> del sistema, además de tener la posibilidad de extender el modelo permitiéndole incluir “instrucciones específicas, saltos condicionales y subprogramas asignados a los objetos”.<sup>55</sup> A partir de las redes de transiciones aumentadas, Cope organiza el nivel de las frases y de los compases musicales, y el nivel de las alturas es organizado por redes de transiciones micro-aumentadas (MANTs, Micro-Augmented

---

54 Nierhaus, G, *Algorithmic Composition, Paradigms of automated music generation*, SpringerWien New York, Mörlenbach, Germany, 2009, pp. 121

55 *Ibid.* 122

Transition Networks). Estas características del sistema proveen las reglas de control necesarias para permitir a los objetos seguir o saltar a otros objetos y de esta forma generar una gramática musical coherente. Adicionalmente Cope usa un sistema de codificación manual que le permite determinar las reglas principales de EMI, mientras ésta decide la combinatoria específica de cada objeto a través del análisis de la base de datos musical.<sup>56</sup>



ATN simple, para la producción de fragmentos musicales

### 2.3.6 Sistemas interactivos/conductuales

Un sistema musical interactivo está basado en la programación de una máquina (ya sea software o hardware) capaz de responder a los estímulos (entradas) de los agentes interactuantes que pueden ser personas

56 Wooller, R, et al. A framework for comparison of process in algorithmic music systems, Sydney, Generative Arts Practice, Creativity and Cognition Studios Press, pp. 109-124.

que estimulan a la máquina, mecanismos conductuales que de si misma o de otras máquinas puede recibir produciendo procesos de retroalimentación dentro de su sistema interno, o simplemente el entorno que la envuelve. Estos mecanismos conductuales le permiten establecer una forma de comunicación y respuesta en tiempo-real, generalmente enfocada en desempeñar tareas musicales o sonoras. Aunque generalmente el término se refiere más a la composición o la improvisación en donde la máquina interpreta un performance en vivo, existen más extensiones y aplicaciones en las que se han implementado los sistemas interactivos musicales como el análisis, educación, evaluación, terapia, investigación, síntesis, etc.<sup>57</sup>

De la misma forma en que los humanos tenemos los cinco sentidos para percibir e interactuar con la realidad, los sistemas musicales interactivos comúnmente están dotados de mecanismos captadores e interactuantes, que le permiten interrelacionarse con su entorno o con el usuario/público. Los mecanismos integrados en estos sistemas pueden ser un conjunto de controladores implementados ya sea en forma de software o hardware, tales como disparadores, teclas, botones, sensores, pedales, cámaras, micrófonos, bocinas, etc. Estos son capaces de establecer la comunicación requerida por la máquina para que el agente interactuante genere las entradas necesarias y finalmente la máquina entregue las salidas pertinentes de acuerdo con la programación asignada. En este punto cualquier componente de entrada puede ser mapeado (asignado a algún componente sonoro, por ejemplo, altura, timbre, ritmo, dinámica, armonía, etc.) e interpretado por la máquina de una forma muy específica determinada por el compositor/programador. Cabe señalar que el concepto

---

<sup>57</sup> Manzo, V. J. *Max/Msp/Jitter for music A practical guide to developing interactive music systems for education and more*. New York, Oxford University Press, 2011, p. 13.

de emergencia toma un papel importante dentro de los sistemas interactivos/conductuales ya que puede ser un componente medular dentro del desarrollo de la composición.

*Audible ecosystemics* (ecosistemas audibles) de Agostino Di Scipio es un sistema de audio que interactúa con el ambiente de un cuarto creando procesos sonoros complejos basados en la retroalimentación generada por el ruido de fondo, sonidos indeseados o por la interacción deliberada de algún intérprete. Es un sistema caótico y dinámico capaz de autorregularse dinámicamente en tiempo-real. Diferentes procesos emergentes surgen a partir de las interacciones que el mismo espacio acústico puede generar mientras es escuchado (a través de micrófonos) por el propio sistema de audio. La pieza está construida en principio por una serie de causas y efectos en una red de interacciones generadas en un bajo-nivel<sup>58</sup> de programación (concebido como la composición) que generan propiedades emergentes de alto-nivel, resultando en la música o el sonido escuchado.<sup>59</sup>

En cualquier momento del performance el resultado sonoro surge de las interacciones ocurridas en el pasado dentro del contexto. Esta forma de interacción es considerada por Di Scipio como el desarrollo filogenético del propio sistema. Las interacciones del pasado en el ecosistema se convierten en la historia del mismo sistema y forman parte del ambiente escuchado, que proveen el contexto adecuado para que las operaciones actuales ocurran, afectando las interacciones presentes y su desarrollo futuro.

---

<sup>58</sup> Un nivel de programación experto basado en abstracciones mínimas o inexistentes entre el lenguaje humano y el lenguaje de la máquina.

<sup>59</sup> Di Scipio, A. *Audible Ecosystemics* n.1ª (feedback study) solo live-electronics (partitura)

Las características técnicas básicas del sistema son:

- Dos micrófonos (condensador, con diagrama polar omnidireccional o cardioide)
- Un procesador de señal digital (DSP) en tiempo-real
- Mezcladora y bocinas (6 u 8, más 1 o 2 subwoofers)

El ruido tiene un papel fundamental en este ecosistema audible ya que es el detonador substancial del propio proceso. A través de este impulso inicial es que se genera la retroalimentación, producida además por la resonancia y en su caso la reverberación acústica del cuarto en donde esté situada la obra. Adicionalmente Las bocinas son colocadas de frente a las paredes de manera que el público asistente no absorba directamente el sonido de las bocinas, sino que lo que escuche sean los rebotes sonoros de todo el proceso dentro de la habitación. Cabe señalar que Di Scipio realizó distintos estudios basados en la configuración del ecosistema audible con ligeras variaciones; estudio de respuestas de impulsos, estudio de retroalimentación de resonancias vocales, estudio de retroalimentación y estudio de ruido de fondo en el tracto vocal.

Al respecto del uso y significado del ruido como principal generador sonoro Di Scipio comenta en las instrucciones de ejecución de la obra *Audible Ecosystemics n. 2*:

El ruido es el generador principal del proceso, no lo corrompe, así como la dinámica de las interacciones compuestas son capaces de convertirse en una señal, en un recurso, una fuente de auto-organización. El ruido es de hecho el capital existencial: el propio bucle de retroalimentación de audio (el mínimo dispositivo productor



de sonido...) ...no es sino una acumulación de ruido de fondo (o turbulencia térmica). Eventos accidentales (sonidos inesperados en el ambiente, interacciones muy violentas o demás) forman parte de los recursos disponibles en el cuarto, afectando el proceso ecosistémico, y dejando que cambie en extremo, a regiones raras en el complejo de todos los posibles estados del sistema.<sup>60</sup>

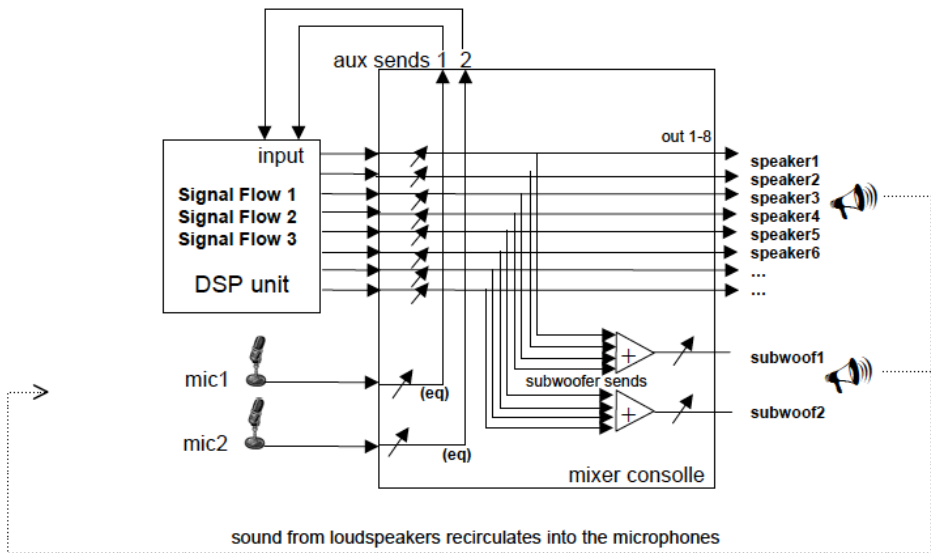


Diagrama de conexiones Audible Ecosystemics, Agostino Di Scipio

Sería interesante mencionar como es que Di Scipio se aproxima al proceso compositivo a partir de una programación de bajo-nivel y además no solo desde la idea de concebirlo como la conformación del resultado sonoro –ya que éste se manifiesta a partir de los procesos de interacción y emergencia del propio sistema– sino más bien desde la premisa de

<sup>60</sup> Di Scipio, A. Audible Ecosystemics n.2<sup>a</sup> (feedback study) solo live-electronics (partitura)

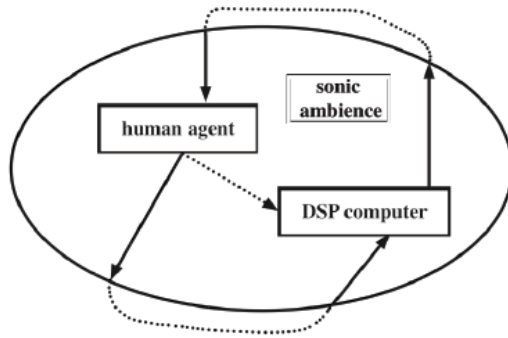
componer las interacciones del sistema. Es decir, generar los tipos de interacciones adecuadas que puedan ser propensas a ocurrir y generar resultados audibles interesantes tanto dentro como fuera del sistema.

La señal final del proceso llevará a la señal de entrada hacia la fase de extracción de características en el patch (del DSP) generando señales de control. Aquí se transformará el proceso de señal general en uno más o menos activo con respecto a su entorno. Es decir, que una salida muy variada y activa generarán un proceso de respuesta más rápido dentro de la configuración del patch, capaz de ajustar su configuración a situaciones con variedad excesiva de eventos sonoros. De igual manera, una salida con menor actividad y variedad conducirá al sistema a un estado de mayor inactividad.

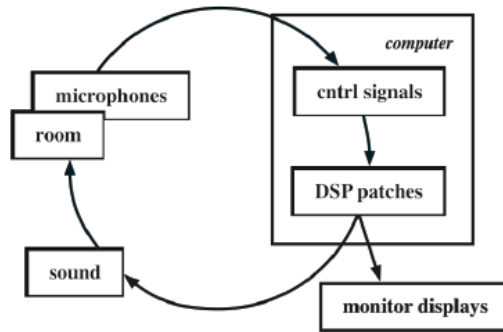
Di Scipio se plantea una pregunta interesante: ¿De qué forma sería posible crear un sistema o un proceso basado en pequeñas partículas pensadas como el micro-nivel, que interaccionen, emerjan y se desenvuelvan en el tiempo para crear una estructura Gestáltica en un nivel superior? Di Scipio se aparta completamente de concebir una macroforma lineal, y en cambio usa el caos, la dinámica y la emergencia de los sistemas complejos para aproximarse a la composición a través del uso de pequeñas partículas sónicas que en un alto-nivel manifiesten la sonoridad del proceso, convirtiéndose en el timbre, en la forma del sonido generado a partir del conjunto de las propiedades emergentes.<sup>61</sup>

---

<sup>61</sup> Anderson, C. Dynamical Networks of Sonic Interactions. An Interview with Agostino Di Scipio. *Computer Music Journal*, 2005 No. 29 (3), 12.



**Triangular recursive ecosystemic connection.**



Diseño general del Ecosistema Audible, Agostino Di Scipio

A partir de esta aproximación, Di Scipio reconoce el enorme potencial compositivo que podrían tener los modelos de dinámica de sistemas aplicados a la generación de la síntesis granular, obteniendo una amplia paleta de distribución de granos sonoros, que van desde comportamientos más aleatorios hacia texturas basadas en patrones, además de otros comportamientos.<sup>62</sup>

Di Scipio busca la emergencia de estructuras sonoras capaces de auto-organizarse a través del uso de la “causalidad circular como un

<sup>62</sup> Ibidem.

principio cibernético más amplio”,<sup>63</sup> en donde las interacciones ocurren entre dos o más conjuntos de sistemas de nivel inferior, capaces de reconocer los puntos de vista y las acciones propias a través de las de los otros. “el interés principal sería crear un sistema que exhiba un comportamiento adaptativo a las condiciones externas del ambiente, y capaz de interferir las mismas condiciones externas [...]. Un tipo de auto-organización es así conseguida [...]. Aquí la interacción es un elemento estructural para que algo como un sistema emerja [...]. Es aquí donde reside la principal aportación al implementar características como interacción e interdependencia al modelado de un (eco)sistema sonoro, ya que puede trasladar la composición musical interactiva hacia la composición musical de las interacciones. En este caso comenzando desde el sistema sonoro hacia los distintos agentes humanos, así como a las condiciones del mismo ambiente y viceversa. Como un cambio que parte de la generación sonora deseada a través de medios interactivos, hacia la creación de las interacciones deseadas obteniendo trazos audibles.”<sup>64 65</sup>

### 2.3.7 Modelos basados en agentes autónomos-inteligentes

Un modelo sería una representación simplificada de un sistema real, generalmente son usados para la experimentación, observación y análisis, así como para resolver problemas, responder preguntas, explicar patrones

---

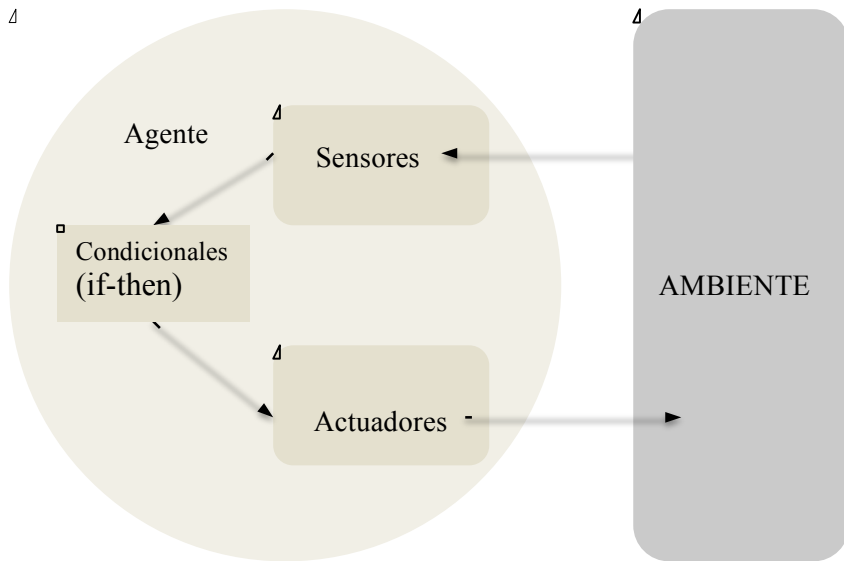
<sup>64</sup> Di Scipio, A. “Sound is the interface”: from interactive to ecosystemic signal processing *Organized Sound*, 2003 8(3), pp. 269-277.

<sup>65</sup> Solomos, M. y Méric, R. Audible ecosystems and emergent sound structures in Di Scipio’s *Music. Music Philosophy helps musical analysis. Journal of interdisciplinary music studies*, 2009 8 (1&2) pp. 57-76.

de conducta y predecir comportamientos de acuerdo con ciertos cambios en el sistema.

Los modelos basados en agentes están constituidos por grupos de agentes complejos autónomos e inteligentes con procesos internos complejos o sencillos. Dotados de sensores perceptivos y actuadores interactúan localmente sobre el entorno en busca de objetivos individuales a través del aprendizaje, la representación, conocimiento y razonamiento. Los agentes inteligentes son capaces de interactuar, modificarse, modificar a otros agentes y a su entorno, generando resultados emergentes que pueden ser impredecibles. Dependiendo el tipo de modelo en ocasiones pueden autorregularse ante las situaciones adversas del entorno, por medio de la retroalimentación entre lo que percibe y lo que hace generando así mecanismos homeostáticos que les permiten adaptarse mejor con su entorno inmediato. Los agentes también pueden ser organismos, humanos, corporaciones, instituciones o cualquier otra entidad que persigue cierto objetivo.

Los sistemas autónomos inteligentes deberían de presentar las siguientes características para serlo: adaptar nuevas reglas para resolver problemas progresivamente, adaptarse en red y en tiempo real, contar con la capacidad de auto-analizar su comportamiento para regularse ante el ambiente, aprender y perfeccionarse a través de la interacción con el ambiente, aprender rápidamente de una gran cantidad de datos, tener la capacidad de almacenar y recuperar datos de ejemplares (sistemas basados en memoria), poseer parámetros que les permitan representar una memoria a corto y largo plazo, peso, edad, raza, tamaño, etc.



Agente simple

En 1966 Iannis Xenakis construye una instalación medial de cables y luces en el pabellón francés de Montreal. Esta pieza fue su primera aproximación a la realización de un *polytope*, que viene del griego *polys* (mucho, numeroso) y *topos* (lugar, espacio, territorio). Aunque esta pieza no guarda una relación directa con los modelos basados en agentes considero necesario analizarla brevemente para introducir el antecedente a la obra encarnada por Chris Salter (*N-Polytope*) con una perspectiva semejante a la de Xenakis pero 43 años después.

Xenakis quería representar sonora y visualmente fenómenos caóticos de la naturaleza como las tormentas con truenos, lluvia y viento. Xenakis pensaba el polítopo como una pieza en la cual todos los elementos que constituyen la obra pudieran conjugarse y articular una forma indivisible. Xenakis construye cinco redes de cables de acero encontrados que delinean

formas geométricas, en ellos mil doscientos flashes de luz (ochocientos blancos, cuatrocientos de colores), los cuales podían ser activados por un sistema de control de cinta perforada y celdas fotosensibles. El propósito de los flashes de luz era simular estrellas, caudales de ríos, espirales, galaxias, explosiones, nebulosas y cascadas. Para simular los comportamientos de los fluidos naturales se requirieron de al menos veinticinco flashes por segundo por cada luz. La música compuesta fue para 4 ensambles idénticos que incluían flauta piccolo, clarinete en Eb, clarinete contrabajo, contrafagot, trompeta, trombón, percusiones, violines y chelos. Los ensambles estaban dispuestos en los cuatro puntos cardinales de manera que se pudiera emular el movimiento sonoro. Xenakis usó crescendos y decrescendos dinámicos y tímbricos para lograr que el foco de atención sonoro oscilará de manera continua de un ensamble al otro. La forma de la pieza está dividida en tres secciones de materiales tímbricos muy contrastantes, espacializados de acuerdo con ciertos patrones y ciertos criterios de proporción. Por otro lado, a pesar de que la música del politopo logra ser bastante agresiva debido a el registro extremo agudo de los alientos, los ataques obligados de los metales y la dinámica fuertísima, Xenakis logra finalmente integrar y generar un balance entre lo visual y lo sonoro. La parte visual con sus agresivos despliegues de luz en forma de sucesos sublimes de la naturaleza se conjuga de forma esplendida con el violento movimiento sonoro. *Politope de Montreal* es una pieza pionera dentro de la estética artística transdisciplinaria que emplea la innovación tecnológica como parte su discurso estético.<sup>66</sup>

En 2012 encontramos *N-polytope*, comportamientos de luz y sonido después de Xenakis (behaviors in light and sound after Xenakis) de Chris

---

<sup>66</sup> Harley, James, Xenakis, his life in music, New York and London, Routledge, 2004, pp. 50 – 52

Salter. Este proyecto dentro del ámbito de los modelos basados en agentes es uno de los que más me ha impactado, ya que la complejidad de la red de interacción es tal que los agentes consiguen generar una composición completamente auto-organizada además de que se adaptan al ambiente para formar patrones rítmicos, caóticos o indeterminados de luz y sonido. El sistema es controlado a través de redes de sensores inalámbricos que utilizan técnicas de aprendizaje de máquinas en el cual los agentes interactúan entre sí y con el ambiente para perseguir objetivos definidos por el programador, una vez que han logrado un objetivo son recompensados o sancionados. Los agentes tienen características censo-actuadoras ya que reciben información que es censada y procesada para inmediatamente actuar en relación con sus reglas de programación. Los agentes son capaces de distinguir y actuar sobre la brillantez de los LEDs, la frecuencia y la amplitud sonora, incluso pueden apagar o prender los LEDs, por lo cual reciben una recompensa. Al igual que en la pieza anteriormente analizada de Agostino Di Scipio, las acciones de los agentes no solo repercuten directamente en el estado presente del sistema sino también y de manera indirecta en el estado del sistema en el futuro. Al tratarse de un sistema basado en agentes que interaccionan en un ambiente dinámico, resulta particularmente difícil generar los mismos resultados en cada ocasión al igual que llegar a momentos en donde la resultante sonora emergente sea lo suficientemente interesante o llegue a generar afectos estéticos. Para lograr lo anterior el equipo tuvo que modelar el comportamiento y las acciones de los agentes de manera tal que pudieran generarse ciertos resultados sonoros y visuales con una respuesta más rápida y una mejor exactitud.<sup>67</sup>

---

<sup>67</sup> Extraído de <http://we-make-money-not-art.com/npolytope/#.U17eJGl25FQ> el 5 de noviembre de 2015



El performance combina luces, lasers y sonido en un sistema capaz de autorregularse a través del aprendizaje que obtiene del ambiente. Todo es montado en un ambiente arquitectónico inmersivo que puede simular comportamientos de fenómenos naturales a través de la dinámica de las luces y la espacialidad dinámica del sonido. N-Polytope busca crear una experiencia estocástica/probabilística (al igual que Xenakis) que pueda extrapolar su complejidad caótica al sistema social tan complejo en el que vivimos actualmente.

N-Polytope cuenta con 150 LEDs de 10 watts con sensores fotoeléctricos y 50 bocinas colocadas en cables de acero y aluminio de alrededor de 24 metros que forman una red compleja suspendida en el aire. Tanto las bocinas y los LEDs son controlados por un software en red basado en módulos y sensores inalámbricos (Xbee <http://sensestage.eu>). Mientras los LEDs crean un espacio dinámico de destellos luminosos, lasers de colores rojo y verde rebotan en superficies de espejos en movimiento y fijos, éstos forman líneas y figuras que desaparecen y reaparecen en el espacio, creando una arquitectura completamente inestable y efímera.

Por otro lado la red de bocinas produce comportamientos de masas compuestas por granos sonoros, que se asemejan a los sonidos producidos por masas de pequeños organismos vivos, similar al enfoque de Xenakis al evolucionar granos dentro de la masa estocástica sonora.<sup>68</sup> Los agentes reciben y procesan información del ambiente la cual es reinterpretada para producir diversos cambios en su funcionamiento tales como el apagado o encendido de las bocinas y los leds y el cambio de brillo o volumen. Al tratarse de una interrelación en un ambiente dinámico en constante cambio, resulta difícil determinar los momentos por los que transita cada agente, “en

---

<sup>68</sup> Extraído de <http://chrissalter.com/projects/n-polytope-behaviors-in-light-and-sound-after-iannis-xenakis/> el 10 de noviembre 2015.



N-Polytope - Vitra versión (2014)

este sentido el performance es evolucionario en cada ‘paso de tiempo’... los agentes toman sus propias rutas para diferenciarse de los demás.<sup>69</sup>

Finalmente, N-Polytope es presentado con una duración de 15 a 25 minutos, presenta secciones completamente indeterminadas y otras más determinadas o guiadas, de este modo el performance se mueve entre el orden y el desorden, entre un caos desbordante y una tranquilidad apacible. “La audiencia ‘siente’ estos algoritmos como dos formas de ‘vida’ –los comportamientos de luz y sonido y la ‘vida’ de experimentar un sistema presente evolucionando en el presente”.<sup>70</sup>

---

<sup>69</sup> Idem

<sup>70</sup> Idem

### 2.3.8 Máquinas heterónomas

El concepto de heteronomía proviene del griego heterónomos que significa dependiente de otro, es decir que la conducta de un individuo no está auto-determinada por éste sino por agentes ajenos a ella que son capaces de prescribirla. El término de heteronomía es introducido por Kant en el ámbito de la ética y la moral contraponiéndolo al concepto de autonomía. Kant define la heteronomía como un acto que no se encuentra determinado por la razón del individuo y que más bien responde a patrones ajenos a éste, por ejemplo; las voluntades del sistema social, familiar, la voluntad divina, los designios a los que estamos inherentemente sujetos tal como los personajes míticos griegos. Para Kant esta autodeterminación es sumamente importante ya que de ella se desprende el verdadero valor moral de las acciones.

De este modo las máquinas heterónomas o funcionales pierden el sentido de la autodeterminación de su conducta y se limitan a ejecutar los objetivos impuestos por el programador o compositor, pudiendo obtener resultados completamente determinados o indeterminados. Estas máquinas tratan de cumplir los objetivos impuestos buscando por sí mismas comportamientos adecuados (estrategias) para hacerlo. Sin dar por hecho necesariamente que son capaces de tomar decisiones en tiempo real para construir un evento sonoro o musical. Las máquinas heterónomas se pueden subdividir en:

- a) Máquinas deterministas
- b) Máquinas estocásticas/indeterministas

### 2.3.9 Máquinas deterministas

Una máquina determinista se caracteriza por estar basada en un conjunto de instrucciones lógicas indicadas por el programador. Éstas tienden a ejecutar comportamientos no intencionados; no tratan de realizar un propósito ni un objetivo determinado por ellas mismas, no entienden más allá de su lenguaje de programación establecido y no reconocen nada más allá de sus instrucciones asignadas, no actúan con el fin de alcanzar un propósito. Ni las entradas ni los mecanismos que se encargan de procesarlas se enteran de que existen las salidas, ni mucho menos cuáles son estas.

Tienden a ejecutar siempre un procedimiento asignado en su programación de la misma forma. Como en la grabación de algún evento sonoro o una obra musical, que al darle “play” siempre y cada una de las veces dicha grabación sonará exactamente igual que las anteriores. De esta forma las máquinas deterministas también sonarán igual al ejecutar el procedimiento asignado una y otra vez.

Z-Machines y Compressorhead son dos ejemplos de máquinas musicales deterministas. Desarrollados en Japón y Alemania respectivamente en años recientes, estos dos grupos de rock integrados por robots buscan crear sus propias canciones, aunque actualmente solo pueden interpretar canciones previamente programadas por sus creadores.

Los robots de Z-machines fueron creados en 2013 por un equipo de expertos en robótica de la universidad de Tokio. El reto principal fue crear un sistema de interpretación que estuviera por encima de las capacidades técnicas humanas y de esta forma producir música nunca antes escuchada. El grupo está conformado por tres robots cada uno con diferentes capacidades; el guitarrista cuenta con 78 relevadores electromecánicos anclados a una superficie móvil que le permite posicionarse en el diapasón

de la guitarra, estos relevadores son accionados al mandar mensajes MIDI a un controlador, adicionalmente en la mano derecha cuenta con 6 extremidades con una plumilla para accionar las cuerdas. El baterista cuenta con 22 extremidades que le permiten tocar diferentes tipos de percusiones y el tecladista activa con lasers las teclas de su instrumento.

Una vez concluido el proceso de ensamblaje y las pruebas, Kenjiro Matsuo el productor musical del proyecto, invitó a distintos artistas y compositores para crear música específicamente para las Z-machines. Algunos de estos artistas han creado EPs completos con música interpretada por estas máquinas, llevando al límite sus capacidades técnicas. Los estilos en los que han tocado van desde el noise y la música experimental, el pop, el rock y hasta complejas estructuras musicales que pueden sonar a música de los tiempos del Atari. A pesar de contar con estas cualidades los robots no son capaces de controlar la amplitud, el timbre, el fraseo, ni una flexibilidad agógica, lo cual es una gran desventaja ya que son estos elementos los que le dan mayor expresividad y calidad a la música. Al recibir la información MIDI e interpretarla de la misma forma que lo haría cualquier reproductor de mensajes MIDI, los robots no dejan de sonar de una forma cruda y mecanizada pese a que los instrumentos que tocan son acústicos y eléctricos.

Por otro lado, Compressorhead es una banda de rock dedicada a tocar covers de bandas como Motorhead, Metallica, Nirvana, Iron Maiden, The Ramones, etc. La banda está constituida por cuatro robots; un guitarrista que funciona de manera muy similar al guitarrista de las Z-machines, un bajista que en lugar de usar plectros para accionar las cuerdas usa sus cuatro dedos mecánicos, un baterista con 5 extremidades y un robot ayudante que acciona el hi-hat de la batería. Teniendo en cuenta que Compressorhead toca covers que en su mayoría llevan voz, este elemento no está presente en la banda limitándose a tocar covers instrumentales omitiendo las partes

melódicas de las canciones. Al igual que las Z-machines no cuentan con la flexibilidad interpretativa de un humano, para hacer música y llevarla más allá de sus limitaciones mecánicas y computacionales. A pesar de estas limitaciones interpretativas, cabe destacar que ambas bandas se han presentado en múltiples foros de concierto donde miles de fans han asistido abarrotando las taquillas por escuchar a estos fabulosos robots tocar.<sup>71</sup>



Compressorhead

---

<sup>71</sup> Extraído de <http://www.gibson.com/news-lifestyle/features/en-us/meet-compressorhead-the-worlds-most-metal-band.aspx>, el 31 de octubre 2015

### 2.3.10 Máquinas estocásticas/indeterministas

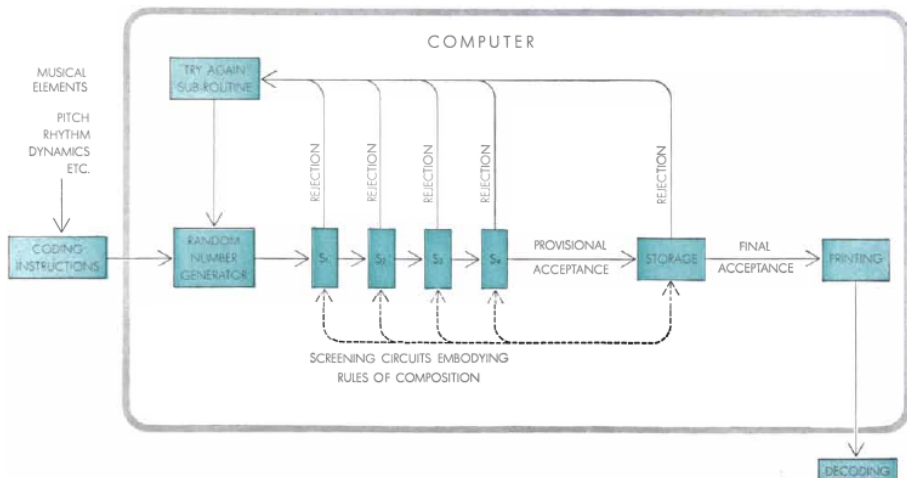
Pese a tener una programación determinada, éstas tienden a ejecutar funciones completamente caóticas o procedimientos con cierto grado de predictibilidad (estocasticidad) cada vez que son accionadas. Sus procedimientos de ejecución van desde el uso de elementos de probabilidad y azar hasta la utilización de variables estocásticas. En la estocasticidad se tiene una noción aproximada sobre el resultado o lugar de llegada general del sistema, sin conocer a detalle cómo es que sus partes individuales llegan a dicho lugar. Contrarias a las máquinas deterministas, tienen la posibilidad de ejecutar el mismo procedimiento de forma diferente cada ocasión que son activadas, esto les permite —análogamente a un intérprete musical— “tocar un mismo procedimiento” y siempre con alguna característica distinta a la ejecución anterior. Las máquinas estocásticas podrían dividirse en:

- a) Sistemas basados en el conocimiento
- b) Composición/Partitura algorítmica asistida por computadora
- c) Procesos de toma de decisión no-determinista (música generativa)

### 2.3.11 Sistemas basados en el conocimiento

Son sistemas que a través de la identificación de elementos (rasgos) musicales aislados son capaces de entender estructuras globales y generar otras aún más complejas. En algunos proyectos como en EMI (Experiments in musical intelligence), la programación es capaz de aislar el código estético

de ciertos compositores y usar este aprendizaje para crear nuevas composiciones en el mismo estilo o en otro diferente. Para que estos sistemas de programación puedan realizar la selección de los diferentes materiales o elementos musicales, se programan reglas como IF-THEN (SI-ENTONCES) para discernir entre un determinado conjunto de variables de entrada que está recibiendo el sistema y las instrucciones que le fueron asignadas, finalmente toma la decisión que más le convenga. Por lo general, estos sistemas tienen principios de realimentación en uno o varios módulos intermedios (antes de la salida definitiva) que le permiten —una vez recogida y rechazada la variable de entrada— regresar al primer módulo (de análisis e identificación de los materiales musicales) y repetir el procedimiento hasta obtener los resultados requeridos por las reglas principales para completar la composición.





Un ejemplo temprano de composición basada en este tipo de sistemas es *la Illiac Suite* para cuarteto de cuerdas de Lejaren Hiller y Leonar Isaacson que fue mencionada en el primer capítulo.<sup>72</sup>

Expert Novice Picker es un proyecto del año 1989 desarrollado por Peter Langston que retoma los sistemas basados en el conocimiento. Aplica a un programa los conocimientos y las técnicas para tocar el banjo al estilo de Earl Scruggs. Posteriormente el programa es capaz de componer pasajes instrumentales que responden a ciertas técnicas tanto de la mano izquierda como de la derecha. Los criterios de selección para las posiciones de la mano izquierda los toma al hacer pequeños desplazamientos respecto de las posiciones contiguas y usando determinadas progresiones armónicas. Terminado este proceso, hace una evaluación y un balance de la secuencia de las notas escogidas; compara entre las notas que corresponden al acorde contra notas que no son del acorde, movimiento nota a nota de la melodía resultante, repetición de los dedos, cuerdas, posiciones, etc. Una gran cantidad de patrones son evaluados para concluir al seleccionar el patrón que obtuvo la puntuación más alta y compilar una tablatura que tiene todas y cada una de las instrucciones para interpretar de manera precisa el pasaje. A través de este proyecto el autor considera que además de crear pasajes melódicos interesantes, Expert Novice Picker puede ser un precedente para expandir las técnicas de ejecución del banjo o cualquier otro instrumento y de esta manera generar otros resultados aún no explorados por los instrumentistas.<sup>73</sup>

---

72 Hiller, Jr. L., Computer Music, Scientific American Journal, 201 Issue 6, Dec 1 1959.

73 Langston, P., Six techniques for algorithmic music composition, tomado de <http://peterlangston.com/Papers/amc.pdf>

### 2.3.12 Composición algorítmica asistida por computadora

La composición/partitura algorítmica asistida por computadora consiste en generar o escoger una serie de algoritmos que son empleados en la composición de una obra acústica o electroacústica. Estos algoritmos son evaluados por el artista/compositor para generar un discurso musical coherente. Por lo general se busca crear una composición en donde el proceso algorítmico no sea visible o demasiado importante, aunque existen algunos compositores que le dan mayor o igual peso al proceso de construcción del algoritmo para significar su obra.

Clarence Barlow por ejemplo crea algoritmos diferentes en cada una de sus piezas lo que le permite generar un lenguaje particular en cada uno de ellos. “Aquí los algoritmos no solo son sencillamente herramientas composicionales, sino que son por si mismos —en un nivel abstracto— un aspecto concreto de la manifestación musical”<sup>74</sup>

La teoría de la composición algorítmica distingue entre los términos de partitura asistida por computadora (score synthesis) y composición asistida por computadora (sound synthesis) para discernir entre la primera que es usada para crear una partitura que normalmente es interpretada por músicos con instrumentos acústicos y la segunda que está más enfocada en la interpretación de obras electroacústicas tocadas con bocinas.

La composición algorítmica no siempre tiende a usar una computadora como herramienta para construir música, Stockhausen por ejemplo, usaba los términos de composición semi-automática y composición automática para referirse a la composición basada en el uso de herramientas electroacústicas analógicas (osciladores, LFOs, por ejemplo).

---

74 Supper, Martin. A few remarks on algorithmic composition. *Computer Music Journal* 25, 1 (2001), 48-53.

Un rasgo particularmente interesante en la composición algorítmica ha sido la asimilación de recursos extra-musicales empleados para la generación de materiales musicales. Las estructuras fractales son uno de ellos y han estado presentes a lo largo de la historia de la música. Sin embargo, a mediados de los años 60s se popularizaron en los circuitos de artistas visuales y músicos electrónicos. Especialmente los L-systems<sup>75</sup> fueron ampliamente usados por compositores como Hanspeter Kyburz que basado en este fenómeno crea su obra *cells* (1993-1994) para saxofón y ensamble.

Kyburz creó pequeños motivos musicales que posteriormente fueron almacenados en la computadora para ser usados como variables de entrada en la aplicación de los L-Systems.

#### 2.4.1.3 Procesos de toma de decisión no-determinista

Están basados en ecuaciones matemáticas y procesos estocásticos no-deterministas. Aquí los procedimientos de composición pueden ser parcialmente controlados por el compositor/programador quien determina el porcentaje y la cantidad de los procesos aleatorios que ocurren. A partir de la implementación de procedimientos lógicos la máquina tiene la capacidad de tomar ciertas decisiones las cuales normalmente no son conocidas con exactitud debido a la naturaleza estocástica de su programación. Generalmente, los resultados obtenidos por la máquina tampoco son previsibles, aunque pueden intuirse con cierto porcentaje de incertidumbre. Esta cualidad puede ser muy atractiva para muchos

---

75 Sistemas Lindenmayer, mencionados más ampliamente en el capítulo 1.

compositores y artistas sonoros ya que les permite ir más allá de lo que su percepción podría llegar a imaginar o concebir, permitiéndoles acceder a lenguajes poco explorados. A su vez, existen posturas que se oponen a esta forma de creación musical y cuestionan qué papel tiene el compositor frente a una obra que se está generando por sí misma, dando por hecho que el que compone o crea la música es realmente la máquina. Este podría ser un debate interminable debido a la complejidad de todos los factores que involucran el problema. Por un lado, el artista/programador es quien — muchas veces— a partir de ensayos de prueba y error va discriminando materiales (código, programación, muestras de audio, etc.) que no le sirven y —de alguna manera— perfeccionando su máquina sonora hasta obtener los resultados deseados. Más allá de si el resultado es o no producido por una máquina el énfasis del trabajo creativo radica en la selección y la discriminación previa de los materiales y las variables que constituirán la obra. Este método de selección a partir de ensayos es una prueba del carácter creativo/experimental que pueden tener estas expresiones artísticas.

Al respecto Helmut Lachenmann menciona que “un compositor que sabe exactamente lo que quiere, sólo quiere lo que sabe, y eso es de una u otra forma demasiado poco”<sup>76</sup>. Sugiriendo la gran capacidad creativa que los usos de sistemas computacionales pueden aportar al proceso creativo de un compositor/artista.

¿Pero qué es realmente lo que hace que la música generada mediante procesos estocásticos no incurra fácilmente en una especie de caos de tal magnitud y homogeneidad —tal como el ruido blanco— que anule todas las

---

<sup>76</sup> Ryan, D. and Lachenmann, H. Composer in interview: Helmut Lachenmann. *Tempo* 210 (1999), 20–24

posibilidades de escuchar algo atractivo para la percepción y que pueda extender el conocimiento sobre la música o el sonido, creando una propuesta innovadora? Stravinsky llama “la gran técnica de la selección” a los procedimientos que el compositor emplea al trabajar con mecanismos aleatorios. Consiste en introducir ciertos patrones de redundancia entre los materiales aleatorios para organizarlos y crear un patrón específico que pueda ser identificable a la percepción. La música a veces definida como una combinación entre caos y monotonía, apunta para los teóricos de la información como un orden desordenado recayendo en alguna parte entre la completa aleatoriedad y la completa redundancia. La estética del contenido musical puede ser vista a través de las fluctuaciones que existen entre estos dos extremos y como se relacionan entre sí para generar una especie de equilibrio homeostático. Alternativamente para los teóricos de la información el estudio de las estructuras musicales a través del enfoque de “la teoría de la información podría ser el camino para un entendimiento profundo de las bases estéticas de la composición”<sup>77</sup>.

Seyyo Koan fue un sistema para la creación de música generativa en tiempo-real creado por Tim Cole y Pet Cole entre 1990 y 1994 el cual Brian Eno popularizó con su disco *Generative Music 1*. En 2007 el software cambió su nombre por el de Noatikl el cual se distribuye a la fecha disponible para varios sistemas operativos. El software permite al compositor o interesado controlar ciento cincuenta parámetros musicales y sonoros, con los cuales la computadora es capaz de improvisar. Al mismo tiempo Brian Eno popularizó también el término de Música generativa, definiéndola como música creada por un sistema que es siempre diferente y cambiante. Eno distribuyó su

---

<sup>77</sup> Lejaren A. Hiller, Jr. Computer music, Scientific American, volumen 201 tomo 6, 1959. p 110.

disco de Generative Music 1 bajo el formato de “diskette” (disco floppy) que contiene el software SSEYO Koan Plus V1.2 y las respectivas piezas de manera que la música generativa que compuso pudiera escucharse realmente cómo fue concebida, como música sin fin que todo el tiempo se construye a si misma a partir de los procesos de selección del compositor. En palabras de Eno acerca de su obra:

“Cada una de las doce piezas de Generative Music 1 tiene un carácter distinto. Hay por supuesto, las obras ambientales que van desde la obscuridad casi lúgubre, *Densities III* (completada con campanas distantes). Éstas son contrastadas con piezas en estilos dramáticamente diferentes, como *Komarek* con sus perfiles rígidos, melodías angulares, con reminiscencias a experimentos seriales tempranos de Schoenberg, y *Klee 43* cuya polifonía simple es similar a la del renacimiento temprano. Pero por supuesto, la gran belleza de la música generativa es que esas piezas no sonarán de esa manera otra vez”<sup>78</sup>

Para Eno este trabajo significa un cambio de paradigma en la historia de la música, ya que considera que por lo menos hace cien años cada evento musical era único, temporal e irrepetible, incluso la música clásica con sus estrictas reglas y procesos deterministas de composición no podía escapar de estas cualidades. A partir del surgimiento del gramófono y el desarrollo de las tecnologías de grabación posteriores fue viable escuchar una música completamente determinista y poder capturar interpretaciones específicas, en donde la reproducción de una misma obra garantizara escucharla exactamente igual en repetidas ocasiones. Actualmente hay tres alternativas

---

<sup>78</sup> <http://intermorphic.com/sseyo/koan/generativemusic1/#gm1>

en la música según Eno; la música en vivo, la música grabada y la música generativa, quedando la música generativa con cualidades de las otras dos. De la música en vivo sus diferencias en cada interpretación y de la música grabada sus limitaciones de tiempo y espacio “la puedes escuchar donde y cuando quieras”<sup>79</sup>.

#### 2.3.14 Sistemas híbridos

Los sistemas híbridos derivan del uso de más un solo modelo algorítmico y la implementación de diferentes técnicas de generación sonora en función de obtener una mayor riqueza estilística y estética.

En principio los sistemas híbridos combinaron computadoras digitales con sintetizadores analógicos de sonido. En 1977 se creó en la universidad de San Diego, California el *Hybrid IV system* (sistema híbrido IV) basado en lenguaje musical que era interpretado a través de caracteres alfanuméricos introducidos con el teclado de la computadora, después las señales eran enviadas al sintetizador analógico.

Un ejemplo más actual de este tipo de sistemas podría ser el *Continuator* desarrollado en el laboratorio de ciencias de la computación Sony en París por Francois Pachet, combina sistemas interactivos musicales (limitados en su capacidad para generar material estilísticamente consistente) y sistemas de imitación musical (que esencialmente no son interactivos). El objetivo del proyecto es extender la técnica del músico con materiales aprendidos por la máquina que sean automática y estilísticamente consistentes. Para este proyecto fue necesario crear un sistema capaz de representar y actuar frente a diferentes estilos musicales.

---

<sup>79</sup> Idem

Basado en un modelo de Markov que responde a diferentes estilos musicales cuenta con la posibilidad de reinterpretar patrones, conjuntos de alturas, tonalidad, ritmo, pulso, armonía e incluso las imprecisiones del ejecutante al tocar. El sistema en su conjunto puede generar respuestas similares (continuaciones) en el estilo introducido en tiempo-real mientras el usuario sigue tocando, o incluso puede seguir tocando con base en los impulsos musicales introducidos para crear solos o improvisaciones colaborativas e interactivas.

Pachet detalla que el continuador es más un sistema “reflexivo” que “flexible”, busca sincronizarse en forma de eco con los materiales musicales introducidos por el usuario, de manera tal que el continuador logra pasar la prueba de Turing, siendo que para un escucha ordinario podría pasar desapercibido el momento en el que la máquina o el usuario tocan. Esto es debido a varias razones que tienen que ver con cómo el material subsecuente es reinterpretado a través de los procesos markovianos y que parámetros como proporción temporal, rítmica, dinámica, agógica, timbre y particularmente el estilo musical son los mismos. En las audiciones de los ejemplos de la página de Pachet pude notar que tratándose de improvisaciones a partir de instrumentos MIDI, resulta particularmente difícil saber en qué momento la máquina o el humano están tocando. En otro ejemplo en donde se implementó un sistema mecánico para que el continuador tocara directamente en un piano acústico mientras un instrumentista improvisa, resulta más sencillo identificar las diferencias ya que el trabajo de fraseo, articulación, dinámica, uso de pedal y flexibilidad agógica son demasiado rigurosos en la interpretación del piano mecánico. A pesar de estas limitantes el continuador resulta ser un proyecto realmente innovador en interesante, pudiendo acceder a los ámbitos de la pedagogía infantil e incluso a la práctica de la libre improvisación.



## Capítulo 3

### Mapeo de datos como técnica de composición musical y sonora

El mapeo de una idea sea o no musical o sonora, es una práctica mucho más antigua de lo que podemos imaginar, al inicio de esta tesis —por ejemplo— comienzo hablando de la mano guidoniana que Guido d’Arezzo utilizó para facilitar la lectura y la entonación de las alturas. El mapeo de datos se refiere a la forma en que un conjunto de información que entra a un sistema determinado o que es parte de él es traducida en parámetros sonoros. Podríamos decir también que es el “proceso de imaginar un gesto o una estructura —tal vez física o visual— y después aplicar un proceso de asignación para convertir a ese gesto en sonido el cual puede representar el gesto original de alguna manera”.<sup>80</sup>

El mapeo de datos puede representarse de distintas formas dependiendo el ámbito en el que éste sea enmarcado, ya sea que se emplee con fines de divulgación científica, artística o pedagógica. No obstante, la forma en la que nos aproximamos a la expresión sonora es indudablemente un fenómeno polifacético que puede ser comprendido desde la individualidad y a partir de varios enfoques que coexisten generando una red compleja de interrelaciones conceptuales y perceptibles, que incluyen

---

<sup>80</sup> Doornbusch, P. *Answers to questions of paul doornbusch about “mapping”* en [http://eamusic.dartmouth.edu/~larry/misc\\_writings/talks/about.mapping.html](http://eamusic.dartmouth.edu/~larry/misc_writings/talks/about.mapping.html)

enfoques de tipo estético, cultural, emocional, afectivo, físico, técnico, coordinativo, informativo, etc.

### 3.1 Criterios estéticos en las técnicas del mapeo de datos

¿Cómo se puede relacionar un conjunto de datos (generalmente extra-musicales) con la creación musical o sonora? El tipo de interacción que se establece entre el público/usuario y el sistema es algo fundamental aquí y más si hablamos de una forma de interacción que incluye la gestualidad corporal y la gestualidad musical. ¿Qué tanto tienen en común el violinista que hace un glissando que va del registro más grave de su instrumento hacia el más agudo respecto a la forma en la que un dj o algún otro intérprete de música electrónica mueven una perilla para generar el mismo glissando electrónicamente? Este tipo de consideraciones son generalmente tomadas en cuenta para la asignación de analogías sonoras en la representación de la información. Sin embargo “hay afianzamientos básicos entre la interacción, y la respuesta sonora que son completamente determinados por leyes físicas: cuanto más energía se pone en un sistema, más fuerte es normalmente la señal sonora o a mayor tensión, mayor altura”<sup>81</sup>, similar emplear octavas o movimientos paralelos en la música.

En muchos casos el mapeo de datos es entendido de una forma meramente pragmática y con la función de socializar al público la información con la cual se está trabajando. “El diseñador necesita tomar varias decisiones que influyen en la efectividad del sistema. Si por ejemplo, la energía durante la interacción es una variable crítica, puede parecer

---

<sup>81</sup> Herrmann, T. et al. The sonification handbook, Berlin, Cost, 2011, p. 105.

razonable mapearla a la altura, una variable sonora donde tenemos una sensibilidad mucho mayor para percibir los cambios en comparación con la amplitud.”<sup>82</sup>

¿Cuál es el grado de equivalencia que busca generar un artista entre la información que procesa y el resultado audible? y ¿qué tan necesario es para un compositor que la decodificación de la información a sonido sea percibida por el público?

Para algunos compositores/creadores el grado de equivalencia sonora o musical que logra generar en un sistema interactivo con el público/usuario, puede ser o no relevante y depende del caso concreto de la obra, donde finalmente el gusto o placer estético serán los que definan estos factores. La significación de la obra sería también una pieza clave para poder abordar el tema de la traducción. Para Chris Salter un sistema indeterminista tiene la potencia necesaria para desatar una serie de consecuencias emergentes a partir de reglas simples de programación que pueden resultar en algo verdaderamente innovador o sorpresivo a nivel auditivo.

“La idea de que algo te sorprenda se encuentra en el corazón del concepto de ‘experimento’. En la ciencia, por supuesto, uno quiere de alguna manera estabilizar esto [el experimento] a través del tiempo y reducir las sorpresas de manera tal que las cosas puedan ser más consistentes y deterministas (y de esta forma otras personas puedan repetir el experimento, obteniendo los mismos resultados y entonces eventualmente llamar a esto un hecho científico). En el arte, particularmente el arte que utiliza estos sistemas computacionales inestables, uno espera crear las condiciones para propiciar que algo pase sorpresivamente y entonces con fortuna sucede. Esta es una de las razones por las cuales artistas como Cage con sus operaciones de

---

<sup>82</sup> Idem

azar, Xenakis con su música estocástica [...] o nosotros con estos procedimientos estadísticos de aprendizaje de la máquina, estamos interesados en usar técnicas que resultan en algo que puede ser predicho parcialmente”.<sup>83</sup>

Hay casos en donde el compositor/artista aprovecha las cualidades de la música generativa como su indeterminación para consolidar una idea que le permita posteriormente generar un concepto para su obra, es el caso de N-Polytopes de Chris Salter quien enfatiza que una de sus principales búsquedas es la de no determinar lo que sucede para dejarse sorprender por la cualidad emergente que el sistema propone. Al respecto Chris Salter menciona:

“El asunto de renunciar al control es realmente una pregunta interesante y yo he encontrado después de haber trabajado durante muchos años con ideas similares, que uno está siempre en un blanco móvil entre algo que está fijo/determinado y, al mismo tiempo, te permite cierto grado de improvisación y auto-organización, de manera que para mantener el sentido de ‘vivacidad –es decir, algo que está teniendo lugar ante uno en ese mismo momento y en tiempo real. Esta es la razón de explorar estas técnicas– ya que finalmente uno quiere crear una experiencia que se renueve por sí misma y de esa forma mantenga su inmediatez– su ‘sentido del presente’. Pero al mismo tiempo, uno nunca tiene totalmente el control porque es dependiente de muchos otros factores, materiales y cosas que poseen sus propias tendencias y predilecciones.”<sup>84</sup>

---

<sup>83</sup> Extraído de <http://we-make-moneynotart.com/archives/2012/07/npolytope.php#.UI7eJGl25FQ> el 10 de noviembre de 2015.

<sup>84</sup> Ibid.

Una visión interesante es la de Larry Polansky<sup>85</sup> quien discute en la entrevista con Paul Doornbusch su aproximación experimental a las técnicas de asignación de datos la cual me parece particularmente creativa. Polansky comenta que al mapear no piensa en gestos sino más bien en ideas y esas ideas las trata de hacer lo más “resonantes” posibles.

“A veces esas ideas parten de una clara e intrincada manifestación sonora conectada intrínsecamente [...] ([sus] cuatro cánones de voz son un buen ejemplo), a veces no (esto es porque [algunas veces] trabajo en las ideas independientemente del sonido, tales como las funciones métricas y de mutación, que provienen de un profundo interés de tipo filosófico en la noción global de cambio).”

Polansky busca alejarse de los enfoques consistentes y dogmáticos que hay sobre el mapeo (como ocurre en algunos proyectos de sonificación). Siguiendo su aproximación y posición experimental, Polansky no parte de un enfoque consistente a través del cual definir un solo camino para la toma de decisiones en el proceso de asignación sonora. Éste es concebido más bien como un proceso de realización u orquestación, donde la intuición, el humor, la expresión, las referencias culturales, etc. son el punto de interés.<sup>86</sup>

Una variante en las técnicas de mapeo se ve en las prácticas de la sonificación, su objetivo es convertir información o datos concretos en representaciones sonoras que no están basadas necesariamente en el

---

<sup>85</sup> Larry Polansky es un compositor, guitarrista y mandolinista, maestro en la Universidad de California, Santa Cruz. Co-escribió el HMSL (Hierarchical Music Specification Language) con David Rosenboom quien es compositor y pionero en el uso de neurofeedback).

<sup>86</sup> Doornbusch, P. *Answers to questions of paul doornbusch about “mapping”* en [http://eamusic.dartmouth.edu/~larry/misc\\_writings/talks/about.mapping.html](http://eamusic.dartmouth.edu/~larry/misc_writings/talks/about.mapping.html)

lenguaje hablado. En la práctica de la sonificación se requiere una aproximación sonora equivalente a la información que se está tratando de representar y que permita descodificarla con fidelidad.<sup>87</sup> Según el texto *Diseño sonoro interactivo*<sup>88</sup> el artista debe encontrar un punto de equilibrio entre los diferentes niveles de información y cómo los datos son asignados a diferentes parámetros sonoros, de modo que exista un cierto grado de equivalencia dato-sonido, que le permita optimizar el despliegue de la información y generar una interpretación clara de la misma. De manera tal que la facilidad de aprendizaje en contraposición con la eficacia de la experiencia estética, adquiera más presencia y pueda existir una mayor inteligibilidad del material sónico respecto a los datos desplegados.<sup>89</sup> Siguiendo con este enfoque encontramos un procedimiento que puede ser factible a la hora de enfrentarse con un trabajo de mapeo, aunque desde el enfoque de la sonificación:

“(a) clasificar todos los factores en función de su importancia para el contexto dado de la aplicación (b) optimizar la sonificación teniendo en cuenta los factores más importantes (c) refinar el diseño sonoro dentro de los límites tomando en cuenta los factores secundarios (d) iterar esto hasta que no pueda hacerse ninguna mejora adicional.”

---

<sup>87</sup> Kramer, Gregory, ed. (1994). *Auditory Display: Sonification, Audification, and Auditory Interfaces*.

Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity. Proceedings Volume XVIII. Reading, Maddison-Wesley

<sup>88</sup> Sarafin, S. Sonic interaction desing, The sonification handbook, Berlin, Cost, cap. 5 p.105

<sup>89</sup> Idem

Dentro de los enfoques de la sonificación de datos y el mapeo en la música algorítmica y generativa, podemos encontrar distintas funciones y sus aproximaciones y aplicaciones tienen —en algunos casos— propósitos distintos a la búsqueda estética, aunque ambos tienen algunos aspectos en común.

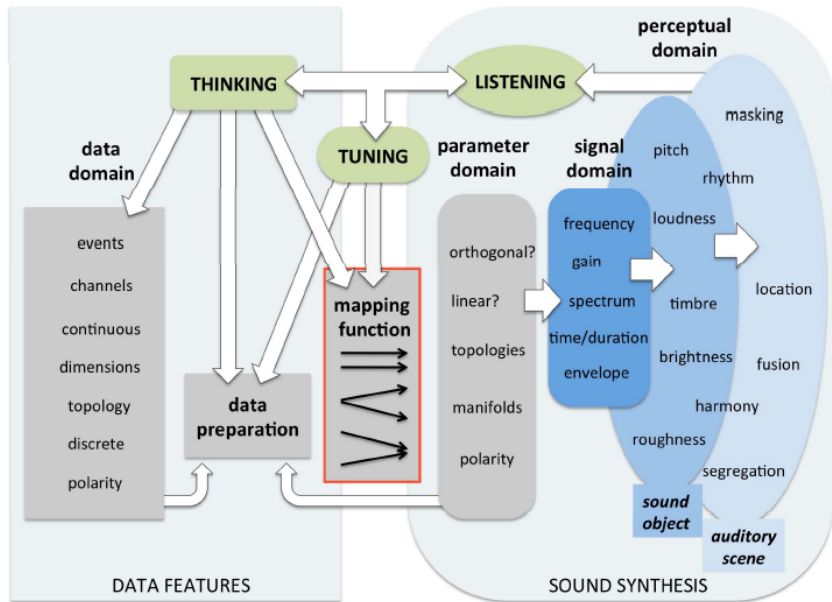
Pero entonces ¿cuál es la búsqueda o existe una búsqueda con fin estético en la práctica de la sonificación y de no ser así, qué sentido realmente tiene entrar en las lógicas del sonido para socializar un dato? A través de la historia podemos observar que las representaciones de la información y de los datos se han hecho mayormente basándose en representaciones visuales. Si estas interpretaciones, con el fin de socializar un tema específico, se hicieran a través del sonido ¿a qué tipo de fenómeno nos estaríamos aproximando? Las formas de representar y aproximarse a la información han evolucionado y el sonido no se ha quedado atrás buscando nuevas alternativas para insertarse en las múltiples formas en que leemos/interpretamos —escuchamos— la información. Actualmente hay varias discusiones sobre cómo representar sonoramente y de una manera comprensible diferentes tipos de información. Algunos estudios han estado interesados en encontrar las mejores técnicas para representar diferentes tipos y niveles de información, pero hasta ahora no se han postulado las técnicas más acertadas para hacerlo.<sup>90</sup>

El siguiente proceso de mapeo tomado directamente del capítulo sonificación de mapeo de parámetros (PMSon) de Florian Grond y Jonathan Berger, sugiere este tipo de enfoque en donde el sonido es el protagonista para la socialización de datos y describe directamente las propiedades del sistema. Los autores consideran que la efectividad de la sonificación está en

---

<sup>90</sup> Sarafin, S. The Sonification handbook, Berlin, Cost.

el dominio perceptual donde el sonido es capaz de representar veraz y eficazmente los datos que se quieren mostrar.



Mapa del diseño general de proceso de sonificación de datos

Investigaciones perceptuales sobre la sonificación y la estética de la sonificación, son las claves para abrir los enfoques más sesgados de la misma y que pueden ser extrapolados a los campos de las artes, la música y el arte algorítmico o generativo. En el caso de la sonificación por ejemplo, hay un claro interés por desarrollar capacidades perceptuales que permitan concentrarse en distintos parámetros de la representación de datos, de modo que pueda emplearse la vista y el oído para comprender más niveles de información de forma simultánea.



El arte de la composición es importante para el diseño de las visualizaciones auditivas, por ejemplo las aptitudes del compositor pueden contribuir a hacer las visualizaciones auditivas más placenteras y sonoramente integradas y así contribuir significativamente a la aceptación de las visualizaciones. Existen claros paralelismos entre el rol del compositor y el del artista gráfico en la visualización de datos [...] Conclusiones similares pueden ser alcanzadas por los beneficios de las habilidades del compositor para hacer visualizaciones más integradas, variadas, definidas y menos propensas a generar ritmos o melódicas irritantes.<sup>91</sup>

Además, la sonificación siendo uno de los casos más alejados que encuentro en relación con las prácticas musicales, es un ejemplo importante que evidencia como paulatinamente las prácticas y los usos del sonido se van desbordando de las prácticas más tradicionales en las que es empleado ampliando así sus acotadas posibilidades. La sonificación plantea el uso del sonido como una herramienta que puede servir para aprender a desarrollar la capacidad de la “visualización auditiva” en el ser humano. Siguiendo lo anterior, ¿qué sentido tiene enmarcar una obra basada en procesos de sonificación y decodificación de datos en un contexto en el cual es entendida como arte sonoro o música, cuando realmente está abriendo otros paradigmas y convirtiéndose en algo más que música, o arte sonoro?

Po otro lado, el compositor generalmente está más preocupado por la experiencia perceptual que por enfatizar el algoritmo o la información de la cual está generada una composición, aunque en algunos casos esto resulta al contrario como es el caso de Brian Ferneyhough quien asegura en

---

<sup>91</sup> Herrmann, T. et al. The sonification handbook, Berlin, Cost, 2011, p. 145.

una conversación con Trevor Wishart citada en su libro *On Sonic Art*, que él está más preocupado por descubrir y analizar la estrategia composicional y el plan formal que en el resultado sonoro. Sin embargo, cuando algún aspecto de los datos o el fenómeno que se trata de representar tiene un carácter explícito para la obra, uno por lo general trataría de encontrar la equivalencia entre el ámbito de la información, los datos o el fenómeno descrito y el resultado audible. En estos casos la obra adquiere una doble significación y crea un intersticio entre la frontera de lo preceptual, sensible, poético y el ámbito más de la racionalidad y la lógica. Aunque esto generalmente no ocurre debido a la falta de colaboraciones interdisciplinarias en el arte, y a pesar de que en algunos casos sí se busca generar el intersticio y por el contrario se genera una especie de *Frankenstein* desafortunado, son pocas las piezas que logran crear este estado de equilibrio que a través de la suma de unidades individuales se crea un todo más interesante construido a partir de la suma de pequeñas ideas integradas en grupos transdisciplinarios como sucede en la pieza ya mencionada *N-Polytope*. Este tipo de perspectivas están abriendo un nuevo camino en la composición y la creación sonora individual. Donde el compositor/creador trasciende su papel de autor por antonomasia y ahora busca la colaboración con otros artistas (como sucede en el cine, en el teatro, en el arte transdisciplinario o en los videojuegos) para lograr los objetivos del proyecto, de la obra y no solamente los objetivos personales del creador/compositor.

De alguna manera entiendo que el significado y las búsquedas de muchos proyectos de sonificación están enfocados en la representación de datos (muchas veces científicos) y no en perseguir fines estéticos. Por otro lado, no hay una sola respuesta que nos lleve a pensar en un enfoque sobre cómo interpretar la información en las técnicas de mapeo sonoro. Si bien Larry Polansky menciona que podría considerar estas prácticas equivalentes

a la realización, la orquestación o la instrumentación, por otro lado —por ejemplo— en la sonificación el sonido podría ser considerado desde un enfoque meramente pragmático en donde la finalidad es la de comprender de forma clara y sencilla un cúmulo de información.

Podríamos concluir que no hay un solo enfoque para abordar el mapeo de datos, y que el enfoque y las decisiones que toman los artistas, compositores, y programadores, dependen completamente de los intereses personales y de la función específica o estética de la obra.

### 3.2 Crítica de las prácticas de creación musical y sonora vinculadas a las técnicas de mapeo y la cientifización del arte

Más allá de las justificaciones conceptuales, científicas o teóricas que un artista le pueda asignar a su obra, en muchos de los proyectos actuales que he logrado rastrear, analizar y escuchar —esto sólo en algunos casos— encuentro que hay una corriente de nuevas expresiones artísticas que escapan a la idea clásica de la estética, la cual parte del estudio de la percepción en general. Sin embargo, en esta tesis he depositado proyectos que considero realmente innovadores en el sentido en que buscan equiparar la complejidad de la técnica discursiva o científica con la inserción del elemento sonoro.

En 1930 Joseph Schillinger ya hablaba de la cientifización de la música a través de sistemas matemáticos que son una especie de música hecha por computadora pero evidentemente antes de la computadora.<sup>92</sup> De este modo, nos encontramos con que actualmente se puede hacer música o

---

<sup>92</sup> Herrmann, T. et al. *The Sonification Handbook*, Berlin, Cost, 2011, p. 145.

en un sentido más amplio cualquier tipo de expresión artística a través de múltiples tipos de datos que puedan ser cuantificados por la computadora.

La música por computadora actualmente es compuesta a partir de ecuaciones fractálicas, autómatas celulares, redes neuronales, sistemas expertos y otros sistemas basados en reglas, algoritmos, y simulaciones. La música también es compuesta a través de secuencias de ADN, índices financieros, tráfico de internet, Imágenes Flickr, conexiones de Facebook, Twitter, mensajes Vickers y cualquier otra cosa en forma digital.<sup>93</sup>

Si nos remitiéramos a la *Crítica del juicio* de Kant que investiga el origen del sentimiento puro, su manifestación y las reflexiones sobre los problemas filosóficos en el arte, estaríamos descartando la noción del valor estético como “belleza”, que es conferido habitualmente a lo que relacionamos con el objeto artístico. Por otro lado, qué hay más allá de la belleza en el arte, qué hay cuando el arte sirve como un instrumento transformador social, o cuando es empleada como vehículo crítico del sistema social y sus órdenes factuales establecidos.

Es notorio que actualmente hay una fuerte fascinación por justificar una obra de arte bajo el discurso tecnócrata y cientificista, el cual tiende a ser cada vez más relevante que el resultado mismo de la obra. Siendo que hay diversos enfoques para entender y crear una obra de arte generativo, muchos artistas tienden a basar su quehacer artístico en la generación o apropiación de un discurso (conceptual o con base científica) que sea lo suficientemente convincente y acabado para así aminorar la idea tradicional de tener que asignar un “valor estético”, crítico o en su caso político al

---

<sup>93</sup> Idem.

resultado final de la obra. Esto posibilita a su vez una redefinición de ese valor estético, que es transferido al proceso mismo de creación como el mismo Ferneyhough asegura, donde el foco de atención se centra específicamente en la significación de la obra.

Desde múltiples vías estas prácticas buscan crear otro tipo de experiencias, llámese “percepciones sensoriales subjetivas” en donde la exploración y los resultados mismos que una obra produce no son pensados en términos objetivos y finitos, sino más bien desde las propiedades perceptuales emergentes que la obra puede producir en la audiencia.

A través de esta investigación me he encontrado con una constante y es que realmente son pocos los proyectos que tienen una propuesta sonora y musical innovadora e interesante basada en los principios de la ciencia de la complejidad y el uso de los sistemas complejos. Desde mi punto de vista el interés sonoro o musical de este tipo de prácticas partiría, por ejemplo, de las exploraciones y las cualidades contrastantes —tímbricas, rítmicas, texturales, de amplitud, de registro, de articulación, etc.— que propicien el surgimiento de otras formas y estructuras musicales, respecto de las formas ya desarrolladas.

Actualmente hay muchos o quizá demasiados proyectos con discursos científicos y teóricos realmente buenos e impecables en el uso del lenguaje pero que sonora o musicalmente no aportan mucho más de lo que ya se ha hecho en el pasado, perdiendo su sentido de innovación o renovación conceptual en el camino. Al respecto el compositor/artista Peter Ablinger comenta: si pudiera ser posible conducir a la música hacia su propia tumba “[...] yo lo haría: enterrar y quemar. Porque, después de todo, estoy seguro de esto: lo que surja de las cenizas no podría ser peor de lo que ya

tenemos. Probablemente no podría ser mejor pero tendría menos desecho, sería purificado en relación a lo que es y lo que ha sido.”<sup>94</sup>

Considero que se requiere de un proceso colaborativo más equilibrado y transdisciplinario entre música y otras disciplinas, en vez de camuflajearse con dicha cientifización, donde el arte pareciera estar a expensas de los discursos o enfoques pseudo-científicos sin necesariamente estar a medias de serlo. Dos ejemplos de arte sonoro transdisciplinario muy interesantes y en este caso mexicanos son el proyecto de *Plantas nómadas* y *Parásitos urbanos* de Gilberto Esparza o *Pulsum-plantae* de Leslie García, que Rossana Lara (musicóloga) analiza con profundidad en su tesis doctoral.<sup>95</sup>

Por otro lado, la generación de sentidos perceptuales subjetivos – en muchos casos– ya no importa salvo proponer investigaciones con base científica que muestren las capacidades técnicas desarrolladas hasta ahora, aplicables a las artes. Otros muchos proyectos fundamentan su discurso a través de la complejidad descriptiva del enmarañado de interconexiones que pueden generarse en un sistema determinado, de nuevo sin proponer algo innovador o de interés perceptual más allá de las descripciones técnicas. Por ejemplo, el proyecto *Drum circle: intelligent agents in MAX/MSP* explora el uso de agentes en red para la construcción de patrones rítmicos inteligentes, a través de la improvisación emulada por un ensamble de agentes percusionistas. El proyecto parece bastante complejo y prometedor (técnicamente lo es) pero carece de exploraciones sonoras o estructurales que podrían esperarse. El proyecto no va más allá de las típicas y tradicionales exploraciones tímbricas de los sintetizadores MIDI, carentes de

---

<sup>94</sup> Reinholdtsen, T. *Los sonidos no me interesan* (versión reducida). Traducción: Segio Bové. Original: “Paregon”, Oslo: abril 2005.

<sup>95</sup> Lara, R. *Poner la escucha en (corto) circuito. Arte electrónico en México: dos décadas*. (tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México 2016.

todo tipo de flexibilidad, expresividad y naturalismo. Es interesante mencionar que los sonidos de los sintetizadores genéricos MIDI han formado parte de la esencia, –y por así decirlo– de la estética que muchos proyectos de la misma índole han optado por emplear, justificando que lo único que les interesa es “ver cómo se comporta y funciona el sistema”. Un buen ejemplo de estas aproximaciones sonoras a la composición musical a través de los sintetizadores MIDI sería el sistema interactivo de improvisación *Voyager* que George Lewis creó en 1993. Lewis genera un balance increíble con estos mecanismos sonoros sintéticos ya que los amalgama con los sonidos reales del trombón, saxofón y trompeta. Otro ejemplo lo podemos encontrar en el programa *Sound Machines* de la plataforma NetLogo, en donde múltiples agentes interactúan entre sí, con un ambiente limitado por cuatro paredes y con las reglas de la gravedad, para generar patrones caóticos o incluso improvisaciones interactivas en las cuales las reglas de operación de los agentes pueden ser modificadas en tiempo real.

¿Pero qué es lo que realmente hace a una obra sensible a una realidad sobremediatizada, el discurso que la acompaña y justifica, o el resultado que por sí mismo la obra genera al espectador? Me parece que pensar en que una obra puede ser simplemente explicada a través de discursos científicistas para ser válida (en los ámbitos y las instituciones artísticas) abandona una búsqueda sincera por emplear las capacidades técnicas actuales en función del arte. Ciertamente pareciera que el arte es el que está al servicio del desarrollo tecnológico, quedando en un segundo plano, como un excedente implícito. Si bien es cierto que este tipo de enfoques pueden explorar y proponer diferentes cualidades en cuanto al discurso conceptual de una obra, ¿a dónde podría conducir lo anterior al arte y qué es lo que realmente se está considerando y entendido actualmente como arte?

Siguiendo por esta línea considero que hay una fascinación por hacer explícito el dato o el algoritmo que es usado en una obra para de alguna forma enmascarar la falta de creatividad, sensibilidad estética y creativa que podría tener una obra. Pareciera como si el resultado fuera una especie de residuo que produce el mismo discurso teórico y cientificista que acompaña a la obra. Incluso aunque estas prácticas tienden a evitar el núcleo perceptual de la estética, es evidente que aún percibimos el arte a través de nuestros sentidos y que muchas de las metáforas del arte no pueden ser expresadas por medio de las palabras o los discursos teóricos interminables que surgen de las prácticas artísticas. Por estas razones considero fundamental retomar nuevamente las exploraciones perceptuales y sensitivas en el arte —ya sean visuales o sonoras, como las cualidades de contraste, complejidad, organización, similitud, memoria, etc.— que considero se encuentran negados y/o descuidados en muchos de los discursos artísticos y estéticos actuales. También considero de suma importancia que las artes y las ciencias tejan puentes que permitan comprender y analizar las formas en las que accedemos de manera objetiva a la realidad y cómo la percibimos subjetivamente, para ser capaces de aprender cómo es que éstas formas de acceder a la realidad contribuyen a la construcción de la percepción estética y a una redefinición de las artes.



## Capítulo 4

### Máquinas Sonoras: sistema interactivo emergente

#### 4.1 Antecedentes del proyecto

En los ámbitos artísticos actuales se ha alcanzado un nivel de evolución tanto técnica, práctica y conceptual que los enfoques de apreciación y las herramientas tradicionales de análisis son insuficientes para obtener resultados analíticos que permitan seguir desarrollando las prácticas artísticas actuales. Asimismo, el enfoque de las ciencias de la complejidad ha ayudado a revolucionar paradigmas de muchas áreas del conocimiento como la física, la química, las ciencias naturales, las ciencias sociales, la economía, por mencionar algunas, y considero que para el campo artístico podría significar una renovación paradigmática también.

En los últimos años los artistas y creadores de múltiples disciplinas han optado por trabajar y teorizar más de cerca con sistemas complejos, redes, algoritmos, sistemas de retroalimentación y procesos iterativos, inteligencia artificial, simuladores de organismos musicales vivientes, autómatas perceptibles, máquinas sonoras, robots musicales, etc. Todas estas expresiones están dispersas y cada una trabajando -sin nombrarlo así- con las ciencias de la complejidad aplicadas al arte. A través de la utilización de herramientas analíticas y de la sistematización de los procesos creativos, que permitan encontrar propiedades que el creador de la obra en cuestión

incluso podría no haber encontrado ¿sería posible pensar en una nueva forma de entendimiento y conceptualización de una obra de arte y el conocimiento adquirido permitiría incluso extenderla de diversas formas y llevarla a otros niveles de complejidad?

Una de las motivaciones por trabajar con el enfoque de las ciencias de la complejidad surge a partir de conocer de cerca algunos trabajos que los compañeros del seminario de ciencias de la complejidad han compartido. El seminario lo imparte el Dr. Felipe Lara Rosano, estoy asistiendo como parte de las actividades que me corresponden dentro del servicio social de la licenciatura. Los trabajos aquí expuestos están relacionados con el ámbito socio-económico y político de México, se ha indagado profundamente en las múltiples formas en que los análisis de sistemas sociales pueden arrojar posibles soluciones a muchas de las problemáticas actuales de nuestro país. A partir del seminario de las ciencias de la complejidad es que comienza a surgir en mí el interés por explorar las características que tienen los sistemas complejos adaptativos y las aplicaciones de modelado basado en agentes que pueden ser utilizadas para analizar y sistematizar la información contenida de un sistema y sus diferentes estados por los que transita.

Gracias al consejo del Dr. Lara Rosano comencé a trabajar con la programación de modelos sistémicos basados en agentes en la plataforma NetLogo, la cual me permitió aprender a programar sistemas complejos adaptativos para posteriormente sonificarlos (encaminar datos a sonido) con SuperCollider. Los experimentos que realicé consistieron básicamente en trasladar los datos de un modelo que simula la interacción entre tres clases de agentes distintos; los humanos plagados de su inevitable muerte ya sea por causa natural o externa, el alimento que necesitan y *los entes* que se llevan la vida de los humanos para así poder sobrevivir. Las variables de entrada que se pueden controlar en el modelo son la población de humanos,

su tasa de reproducción, la cantidad de alimento de los humanos, su velocidad de producción, y la cantidad de alimento que necesitan para mantenerse con vida, por otro lado, las variables de la segunda clase de agentes (los entes) son, la cantidad de entes, su tasa de reproducción y la cantidad de alimento humano que necesitan para sobrevivir. A partir de estas variables y la interacción en tiempo real del modelo es posible observar como las diferentes configuraciones en las variables de entrada son capaces de generar procesos emergentes inesperados, tales como la extinción de todos los agentes involucrados, la extinción de los entes, la sobrepoblación humana y la coexistencia de los tres agentes interactuando en un ecosistema fluctuante, desequilibrado, oscilante pero equilibrado a la vez. Este equilibrio fue la configuración más difícil de generar debido a la alta sensibilidad de las variables de entrada, ya que mínimos cambios pueden resultar en el caos total, llevando a la extinción al sistema en su totalidad, ya que las conexiones e interdependencia son vitales para garantizar la existencia de todos los agentes involucrados en el sistema. Posteriormente los datos generados a partir de la interacción de los tres grupos de agentes del sistema fueron encaminados vía OSC<sup>96</sup> a distintos sintetizadores en SuperCollider pudiendo modificar distintos parámetros sonoros, como la amplitud, frecuencia, timbre y fase. El resultado acústico no fue muy interesante ya que realicé una sonificación de la interpretación literal del momento en el que el sistema llegaba a situaciones de equilibrio oscilante con apenas ligeras fluctuaciones. Sonoramente fue una serie de glissandos ascendentes y descendentes con variaciones en la fase y la amplitud. Esta fue mi primera aproximación a la sonificación de datos, a la cual no le encontré mucho más sentido que el mero gusto por hacerlo y explorar las

---

<sup>96</sup> Open Sound Control: protocolo de comunicación entre computadoras y otros dispositivos electrónicos vía red

diferentes asignaciones de los parámetros sonoros que la combinatoria me que pudiera permitir.

Después de este experimento comencé a idear un sistema que me permitiera crear una instalación interactiva emergente basada en agentes caracterizada por la conectividad, interacción, retroalimentación e interdependencia entre los agentes y el espacio acústico de un cuarto. La idea fue generar un sistema sonoro atractivo e impredecible que contuviera las características de los sistemas complejos adaptativos y que fuera capaz de interactuar y reaccionar ante la diversidad sonora presente en el cuarto, así como el sonido exterior y la interacción en vivo con el usuario.

Las siguientes secciones de este capítulo, estarán dedicadas a definir el sistema sonoro interactivo y a explorar algunos conceptos de las ciencias de la complejidad como la iteración, la retroalimentación, la emergencia, la adaptación, el intercambio de energía y la autorganización y como éstos fueron aplicados a la construcción de entidades sonoras autónomas (máquinas sonoras) capaces de interrelacionarse, modificarse a sí mismas y entre ellas, para finalmente modificar el entorno acústico de un cuarto que al mismo tiempo las modifica. Por otro lado, y con el objetivo de ampliar las características y funcionalidades técnicas, estéticas y perceptuales, los conceptos de resiliencia, aprendizaje, homeostasis y autorregulación, quedarán pendientes para un futuro trabajo sobre la aplicación de las características cibernéticas y de control que pueden ser implementadas a los mecanismos perceptuales de las máquinas sonoras.

## 4.2 Sistema sonoro interactivo emergente basado en agentes

Las máquinas sonoras son un sistema dinámico complejo con un gran número de componentes relativamente simples que se interrelacionan y modifican unos a otros según sus reglas de operación.

El sistema dinámico está compuesto por cinco elementos que todo el tiempo interactúan entre sí, las máquinas sonoras, el micrófono que retroalimenta y modifica el comportamiento de las máquinas a través de la captación misma del resultado acústico que ellas producen, la interacción del público con la instalación, las reflexiones acústicas del espacio y público que perciben el fenómeno y el ruido exterior causado por el entorno sonoro o suprasistema.

Las interrelaciones entre los componentes de las máquinas sonoras son capaces de generar propiedades emergentes que si bien, cada máquina podría generar individualmente momentos sonoros interesantes, ningún agente podría generar por sí mismo la complejidad sonora que resulta de las interrelaciones internas y la interacción externa que establecen con el ambiente sonoro del cuarto de retroalimentación y el usuario. A partir de las interrelaciones de los componentes surge un momento sonoro altamente complejo, donde la resultante acústica del sistema puede ser modificada por lo que las máquinas “escuchan” -codifican- de sí mismas y de otras en su entorno virtual (estímulos virtuales) y de los fenómenos sonoros que ocurren en el entorno exterior a ellas (estímulos físicos decodificados), sean estos generados a partir de la interacción con el ruido de la sala, una libre improvisación o la interacción del público presente.

Un rasgo interesante de los sistemas complejos es que el comportamiento de un solo agente del sistema puede afectar notablemente el comportamiento del todo que las contiene. De manera análoga las

máquinas sonoras también se desenvuelven como los agentes de un sistema complejo, y los resultados sonoros producidos por una máquina afectan de forma sustancial el resultado sonoro emergente.

Por otra parte, el suprasistema es la totalidad más amplia en donde se ubica el sistema, en este caso es el entorno acústico o entorno contextual, su función es la de interactuar de manera indirecta con el sistema (máquinas sonoras) y modificar el resultado sonoro inicial a través del proceso de realimentación. El entorno acústico estaría constituido de todos y cada uno de los sonidos que circundan el sistema, para después convertirse de sonido analógico a datos. Así el grado de impacto de las interacciones entre el suprasistema y el sistema depende del entorno acústico y de las decisiones elegidas a nivel interno como externo. De esta forma los cambios producidos en el entorno acústico podrán intervenir y modificar el resultado sonoro del sistema llevándolo a diferentes estados de comportamiento e interacción. La función que desempeñan los agentes del sistema en el suprasistema es modificar el entorno sonoro al mismo tiempo que éste las modifica. De esta forma el sistema puede generar estados totalmente antagónicos en relación con los objetivos del suprasistema y por otro lado, estados en donde los objetivos se apoyen mutuamente.<sup>97</sup>

Otro elemento a considerar es el entorno transaccional o cuarto de realimentación, es el espacio en donde surgen modificaciones directas entre el sistema (máquinas sonoras) y el cuarto de realimentación. Aquí podemos encontrar dos tipos de entorno, el pasivo que es aquel que puede ser intervenido directamente por los estímulos que recibe del sistema y el activo aquel que puede intervenir y modificar directamente al sistema. Dos

---

<sup>97</sup> CEPAL Charlas Sobre Sistemas Complejos Sociales (CCSSCS): serie de 9 videos en línea sobre la ciencia de los sistemas complejos sociales; <http://www.martinhilbert.net/CCSSCS.html>

micrófonos se encargan de establecer la comunicación entre él, las máquinas sonoras y el entorno transaccional. Aquí también se producen intercambios de información de tipo físico que son codificados en datos que las máquinas pueden interpretar para modificar sus estados internos.

Cada máquina sonora posee características únicas y particulares que las hacen diferentes de las demás, así como su propia historia (la información sonora almacenada en el tiempo) y sus procesos complejos. A estas características las podemos nombrar subsistemas estructurales ya que configuran y dan sentido a cada una de las máquinas, además de estar compuestos de un sistema de programación orientado a objetos bastante complejo como es el lenguaje de SuperCollider.

A continuación, se describen las propiedades individuales cualitativas que se refieren al sistema, así como a las interrelaciones que establece con el entorno:

#### Instrumentos perceptuales del entorno sonoro (micrófono)

- Detector de amplitud
- Detector de ataque
- Detector de frecuencia

#### Mecanismos homeostáticos de respuesta (Procesador de información)

- Filtros resonantes (RLPF, Resonant Low pass filter)
- Generadores de ruido blanco
- Variables y parámetros de sustitución
- Movimiento espacial
- Limitador
- Retardo (delay)

## Mecanismos de comunicación con el entorno

- Bocinas

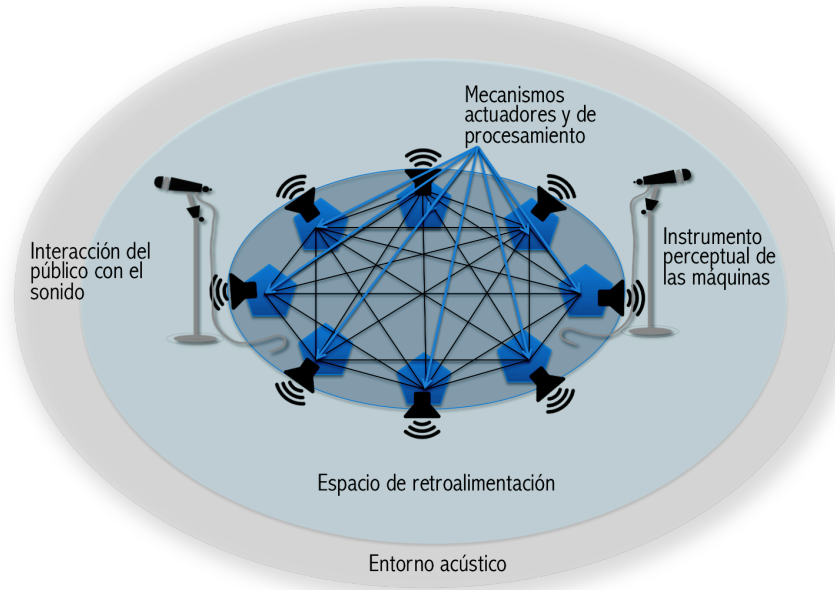
Otras propiedades generales:

- Funciones en tiempo real (posibilitan la interacción inmediata de las máquinas con el entorno).
- Mandan datos a si mismas y a otras máquinas (procesos iterativos)
- Reciben e interpretan datos de otras máquinas y del entorno, esta interpretación además puede modificar su conducta.
- El comportamiento de una sola maquina puede afectar el comportamiento de todo el sistema.
- Sus variables iniciales son altamente sensibles a los cambios.
- Generan propiedades emergentes y homeostáticas según el tipo de interacción que establecen con el entorno acústico.

Los mecanismos homeostáticos de respuesta parten de un proceso de codificación interpretada de datos. Tomando los estímulos sonoros del entorno, la programación de las máquinas interpreta los datos de entrada (variables de entrada) para después regresar al entorno acústico (variables de salida) por medio de mecanismos actuadores resultando un fenómeno sonoro emergente.



## Diagrama sistémico



### 4.3 Características estructurales

#### Iteración

Una de las propiedades que considero más importantes en la programación de las máquinas sonoras es el proceso de Iteración, ya que éste juega un papel fundamental en la configuración del sistema dinámico. La iteración es el acto de repetir un proceso para utilizarlo como punto de partida para otro proceso de forma indefinida. De manera que las variables de parámetros de una máquina como reconocimiento de amplitud, de ataques (onsets) y de frecuencia, son encaminados hacia otra máquina que

al mismo tiempo influye en las variables de la anterior, de otras y de sí misma. Los resultados sonoros generados a partir de las interrelaciones virtuales de las máquinas sonoras que de por sí en su configuración tienen procesos iterativos, son recogidos por dos micrófonos que captan el ambiente sonoro, posteriormente los mecanismos de percepción de las máquinas analizan el sonido entrante a través de la transformada rápida de Fourier (FFT). Los datos procesados se convierten en las variables de entrada del sistema que modifican adicionalmente —a la interrelación virtual que ya hay entre ellas— de forma indefinida el comportamiento de las máquinas a través del proceso de retroalimentación acústica.

### Retroalimentación

La retroalimentación si bien similar al proceso de iteración, la entiendo más dentro de este sistema, como el mecanismo a través del cual entra el fenómeno acústico percibido por las máquinas, este a su vez es dirigido a los instrumentos perceptuales (detector de ataques, de frecuencia y amplitud), que envían la información detectada a los mecanismos homeostáticos de respuesta quienes se encargan de redirigir los datos procesados a la salida. El resultado emergente es finalmente percibido por el público y regresado al sistema por medio de los micrófonos. La retroalimentación es un fenómeno interesante en la instalación ya que no es el tipo de retroalimentación generada por ejemplo con un micrófono frente a una bocina, sino algo aún más complejo ya que el micrófono no es amplificado. Lo que capta el micrófono es el resultado generado por la interrelación de las máquinas y la interacción con el resultado acústico generado que regresa a las máquinas en forma de datos a través del micrófono. La retroalimentación produce cualidades emergentes en el

sistema, es lo que se escucha, convirtiéndose en el principal fenómeno que delimita y determina el momento sonoro constante.

## Emergencia

La emergencia es una propiedad de los sistemas complejos adaptativos en la cual surge la aparición de estructuras complejas que se presentan en el tiempo a través de la actividad sincronizada de sus componentes. Dichos componentes del sistema no necesariamente son inteligentes, sino más bien son entidades interconectadas, simples y pequeñas que por sí mismas no podrían presentar la aparición de dichas propiedades. El concepto de emergencia se relaciona con los conceptos de autoorganización y superveniencia, y se define en oposición a los enfoques del reduccionismo clásico que considera la resolución de problemas de forma aislada al contexto del mismo. En cambio, el enfoque de la emergencia considera que el todo, es más que la suma de sus partes y a través de este enfoque es como la ciencia está abordando actualmente los problemas de sistemas complejos psico-sociales.<sup>98</sup>

Por otro lado, los procesos emergentes como ya se ha hablado, parten de la interrelación entre las máquinas y su interacción con el entorno, estos procesos provocan el surgimiento del resultado audible, que si bien, es difícil de controlar debido a su carácter no lineal, es posible de alguna manera anticipar trayectorias estables y predecibles. Dichas trayectorias pueden provocar el surgimiento de bucles de retroalimentación donde el resultado audible puede ser por momentos monótono. Como sugiere Karl Marx, “diferencias meramente cuantitativas más allá de un cierto punto,

---

<sup>98</sup> CEPAL Charlas Sobre Sistemas Complejos Sociales (CCSSCS): serie de 9 videos en línea sobre la ciencia de los sistemas complejos sociales; <http://www.martinhilbert.net/CCSSCS.html>

resultan en cambios cualitativos”. A través de una intervención cuantitativa es posible desembocar en la generación de procesos sonoros de mayor interés, donde algo con cualidades completamente diferentes surge a partir de una ligera variación en los parámetros (subir el volumen, proporcionar mayor ganancia a los micrófonos, desactivar o activar las máquinas). Más adelante hablaré con mayor cuidado sobre el proceso de intervención del compositor/improvisador/ingeniero de audio dentro del sistema, que ha sido fundamental para generar procesos sonoros basados en un enfoque improvisatorio.

### Adaptación

La adaptación es la propiedad del sistema y de los agentes de un sistema para aprender del entorno y ajustarse mejor a él. Mediante mecanismos perceptuales captan la información del entorno, después procesan la información captada, y a través de mecanismos actuadores son capaces de cambiar su comportamiento para adecuarse mejor a la realidad en la que están inmersos.

En este caso las máquinas sonoras por medio de los instrumentos perceptuales del entorno sonoro y los mecanismos homeostáticos de respuesta adaptan y modifican sus variables de acuerdo con las reglas de programación pudiendo transitar por los valores asignados en cada una de ellas. A través de los mecanismos de comunicación con el entorno es que lo modifican y al mismo tiempo son modificados por éste.

### Autoorganización

La autoorganización es la característica de los sistemas complejos adaptativos para generar resultados coherentes colectivos, que surge de las

interacciones locales entre los componentes del sistema. Generalmente a través de la autoorganización en los modelos basados en agentes se llega a una forma de orden específico, generado no por un solo agente —ya que éstos no están programados para generar un orden determinado— sino que la estructura surge de forma espontánea y completamente descentralizada sobre todos los agentes del sistema.

En el caso de las máquinas sonoras la autoorganización no es tan simple de catalogar, ya que ésta está vinculada con el campo de la percepción y esta es completamente subjetiva. Si bien al ejecutar las máquinas sonoras he podido definir de forma amplia ciertos estados de equilibrio que producen resultados coherentes colectivos, tal vez para alguien que escucha por primera vez el sistema interactivo no sea así. Yo, que tengo casi un año probando y experimentando con el sistema, sí podría decir que hay un cierto tipo de autoorganización y que traspasa los límites individuales de interacción de las máquinas. Al activarse las ocho máquinas simultáneamente comienzan a generar procesos que poco a poco se hacen reconocibles a la escucha, esto se debe a los mecanismos de retardo (delay) integrados de forma distinta a cada una de ellas. Estos mecanismos de retardo generan procesos cíclicos que son escuchados nuevamente por el sistema a intervalos de tiempo regulares que van desde 21 segundos y hasta 233 segundos.

#### 4.4 Análisis de las variables del sistema

##### VARIABLES DE ESTADO

Son las variables predeterminadas del sistema que describen su estado interno en un momento determinado, en éstas se presenta la historia general del sistema. Una particularidad de las variables de estado en las

máquinas sonoras es que son muy sensibles a los cambios, ya que cambiar un solo valor puede llevarlas a estados al borde del caos (al generar niveles de saturación extremas por encima del rango máximo de altura soportado por supercollider, arriba de 26 decibeles) o por el contrario generar mecanismos homeostáticos, y mantener un equilibrio interno en el sistema.

- Procesos iterativos de control ( $N_{def}$ ,  $|h|$ ,  $(y=x)$ )
- Mecanismos de control de amplitud
- Mecanismos de control de frecuencia
- Mecanismos de control de ataque
- Fuente sonora (Ruido Blanco)
- Mecanismos de decaimiento controlados por procesos iterativos

#### Variables de entrada

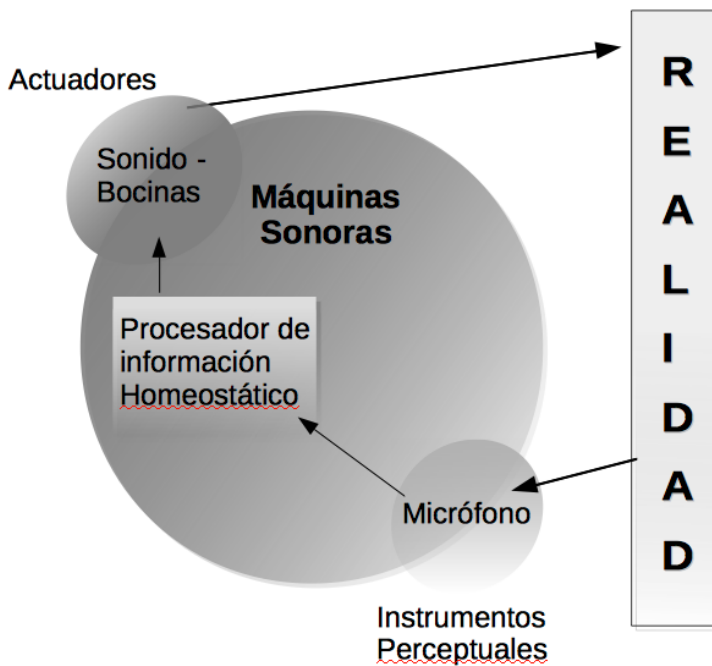
Son aquellas que representan las cualidades variables de información que recibe el sistema del entorno y que pueden modificarlo de manera imprevista. Estas también pueden ser manipuladas directamente, para afectar el funcionamiento del sistema con el objetivo de generar a un estado determinado, lo que implica una forma de teleología.

- Interacción sonora del público (Nivel de amplitud, frecuencias sonoras, ataques)
- Intervención del improvisador
- Intervención del compositor/improvisador/ingeniero de audio
- Ruido ambiental
- Retroalimentación

## VARIABLES DE SALIDA

Son el resultado que es proyectado al entorno como efecto de las interacciones entre las variables de estado y las variables de entrada. Tienen la característica de ser observables en la realidad y servir para la evaluación funcional del sistema.

- Resultado sonoro emergente
- Intervención del espacio acústico



#### 4.5 Momentos sonoros diferenciables en las máquinas sonoras

Como se mencionó anteriormente las máquinas pueden generar momentos sonoros homogéneos y diferenciables, los cuales enlisto a continuación además de que estarán en el siguiente enlace:

[https://archive.org/details/Sound\\_Machines](https://archive.org/details/Sound_Machines)

Ejemplo 1. Pedal constante registro medio

Ejemplo 2. Ataques estables más pedales

Ejemplo 3. Partículas sonoras estables

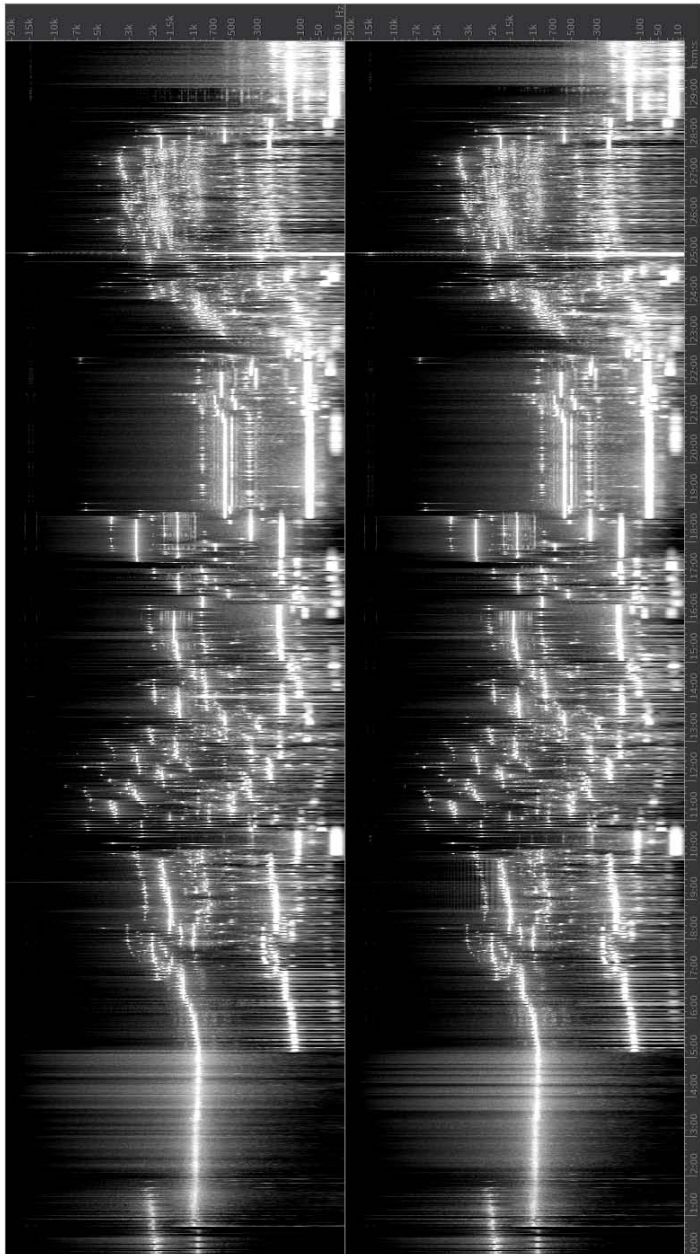
Ejemplo 4. Pedal constante más partículas sonoras

Ejemplo 5. Ataques estables más pedal registro grave

Ejemplo 6. Bucles de retroalimentación

Ejemplo 7. Partículas sonoras caóticas





Sonograma de las máquinas sonoras

#### 4.6 El papel del compositor/improvisador(es)/ingeniero de audio dentro del sistema interactivo

Es importante mencionar que en el estado actual de la programación del sistema interactivo, los estados diferenciables de las máquinas sonoras no surgen de manera fortuita, sino que requieren un cierto tiempo de interacción retroalimentativa con el ambiente y en algunos casos la intervención del compositor/improvisador/ingeniero de audio para controlar el sistema. Hasta este punto no se había hablado a detalle del papel de este agente externo al sistema ya que originalmente se buscaba generar un comportamiento autónomo que no requiriera otra intervención de control más que la del público y en todo caso la interacción de un improvisador vocal o instrumental.

En el transcurso de la programación y al hacer las pruebas resultó sumamente importante que un compositor/improvisador/ingeniero de audio controle, modifique y pueda crear un resultado de mayor interés sonoro en el sistema. Estas modificaciones meramente cuantitativas pueden ser realmente mínimas pudiendo hacer variaciones en la ganancia de los micrófonos, la salida de audio y al activar o desactivar alguna máquina en el transcurso de la ejecución del sistema.

Los cambios que le corresponde realizar al compositor/improvisador/ingeniero de audio deben estar ligados a una escucha atenta y activa del momento sonoro. Al mismo tiempo éste agente puede tomar la actitud del improvisador propositor o facilitador. El improvisador propositor en este caso, es el que propone cambios sustanciales en el sistema, algo que puede repercutir de forma discursiva al momento sonoro, llevándolo a un lugar completamente diferente; ya sea cantando, aplaudiendo, produciendo ruidos, tocando algún instrumento, etc. El improvisador facilitador es aquel

que se enfoca en la escucha activa de los estados de retroalimentación de las máquinas. Por ejemplo, puede variar lentamente los parámetros mencionados anteriormente, con el fin de provocar cambios graduales en el proceso de emergencia sonora del sistema.

#### 4.7 Diagnóstico del sistema

En el estado actual de la investigación el problema principal radica en obtener distintos tipos de estados sonoros a partir de las interrelaciones generadas con el suprasistema (entorno contextual), de manera que las máquinas sean capaces de orientarse a atractores que las conduzcan en distintos momentos a diferentes estados previamente programados. Trabajar en esto permitiría desarrollar un sistema interactivo emergente con mayor control y direccionalidad enfocado a generar múltiples estructuras sonoras a partir del reconocimiento de éstas.

Como hemos visto, a través de cambios mínimos en la ganancia de los micrófonos y la salida de audio ligados a una escucha atenta es posible crear momentos sonoros interesantes y completamente diferentes a lo que se venía dando antes, y sólo con mucha práctica crear un cierto tipo de estructura formal. Siguiendo lo anterior, ¿sería posible implantar dichas funcionalidades de forma autónoma al sistema de las máquinas sonoras y que sean capaces de crear una estructura interesante y diferente en cada ocasión que son ejecutadas? La respuesta a esta pregunta es sí, realmente se podría realizar solo si se implantan al sistema mecanismos de reconocimiento de momentos sonoros, y mecanismos que permitan modificar sus estados internos, lo que nos remite directamente algo mucho más avanzado que son las máquinas que escuchan o *machine listening*. Estas

parten de los principios de aprendizaje y autorregulación para alcanzar objetivos previamente programados. La idea sería ahora ampliar las funcionalidades técnicas, estéticas y perceptuales, de las propiedades cibernéticas y de control aplicadas a los mecanismos perceptuales de las máquinas sonoras.

Al respecto de las máquinas que escuchan, el ingeniero Paris Smaragdis del MIT se refiere a ellas como software que aprovecha las cualidades del sonido para ubicar personas dentro de un cuarto, monitorear maquinaria para evitar posibles fallas, o activar cámaras para grabar un determinado momento en el que ocurre algo importante.<sup>99</sup> Las máquinas que escuchan no solo son capaces de discernir entre fenómenos acústicos sino también son capaces de comprender información más abstracta; por ejemplo, análisis de datos enfocados en aplicaciones médicas, seguridad, vigilancia, censado, etc., hasta mecanismos cualitativos de detención como los fenómenos psicoacústicos de percepción sonora humana desarrollados en la tesis doctoral *Music-Listening Systems* de Eric Sheirer.<sup>100</sup> Otros trabajos importantes que se han hecho sobre el tema serían las investigaciones realizadas por Nick Collins, *Automatic Composition of Electroacoustic Art Music Utilizing Machine Listening, Live Coding and Machine Listening, Musical Robots and Listening machines* y su tesis doctoral concluida en 2006 titulada *Towards Autonomous Agents for Live Computer Music: Realtime Machine Listening and Interactive Music Systems*. Otra tesis relevante para esta investigación es *Real-time Human Interaction with Supervised Learning Algorithms for Music Composition and Performance* de Rebecca Anne Fiebrink.

---

<sup>99</sup> Extraído de <https://www.technologyreview.com/s/406664/computer-scientist-paris-smaragdis-on-machine-listening/> el 18 de abril de 2016.

<sup>100</sup> Scheirer, E. "Music-Listening Systems", (tesis doctoral) Massachusetts Institute of Technology, 2000.

Las máquinas que escuchan se constituyen de software y hardware y en teoría podrían simular el complejo sistema auditivo humano, con el objetivo de extraer información significativa de las señales de audio analizadas. Julius Smith profesor de música e ingeniero eléctrico de Stanford comenta que “analizar audio certeramente involucra varios campos de conocimiento: ingeniería eléctrica (análisis de espectro, filtración y transformación de audio); psicoacústica (percepción sonora); ciencias cognitivas (inteligencia artificial y neurociencia); acústica (física y producción sonora); y música (armonía, ritmo, y timbre)”.<sup>10</sup>

La inteligencia artificial desde tiempo atrás ha desarrollado sistemas de percepción de las máquinas en paralelo a los estudios de la cognición humana. Dichos sistemas han permitido a algunos creadores como David Cope, Lejaren Hiller, Clarence Barlow, etc. musicales generar proyectos capaces de reconocer a través de diferentes tipos de análisis estructuras musicales que generen nuevas composiciones y herramientas de análisis musical.

Aunque las máquinas que escuchan han sido empleadas en campos muy distintos al arte como la medicina y los sistemas de vigilancia y detección con el fin de revelar información clave acerca del comportamiento de una persona a través de los micrófonos que tienen los teléfonos celulares, estos enfoques podrían ser de gran utilidad para el presente proyecto ya que introducen importantes herramientas para la detección de momentos de acción sonora relevantes.

La pregunta general que serviría para mejorar la dinámica del sistema sería la siguiente: ¿Cómo crear un sistema de máquinas sonoras capaz de reconocer a través de un modelo auditivo computacional de análisis de escenarios, momentos importantes como monotonía, semejanza, homogeneidad, equilibrio, variedad, densidad, registro y timbre, generados

a partir de la emergencia provocada por la interrelación entre dichas máquinas y su interacción con el entorno físico/acústico? Específicamente ¿cómo diseñar un sistema basado en procesos de toma de decisión, que le permitan a éste desenvolverse de manera autónoma y generar un desarrollo formal a partir de la exploración de posibles espacios de estado previamente programados?

Por otro lado ¿sería posible a partir de impulsos iniciales concretos –sean estos patrones rítmicos, estructuras armónicas complejas, fragmentos musicales, etc.– determinar de manera probabilística la capacidad del sistema para generar resultados sonoros emergentes medianamente previsibles?

## Conclusiones

Si bien inicialmente la motivación del proyecto de las máquinas sonoras fue explorar qué tipo de música podría surgir al concebir un sistema sonoro con cualidades emergentes, ahora me gustaría explorar la posibilidad de estructurar dichas cualidades emergentes para dirigir las hacia un lugar determinado. Esto me sugiere profundizar más en la aplicación de la estocástica en la obra de Xenakis, donde el desarrollo temporal de un sistema musical estocástico es concebido en términos de probabilidad. De manera similar al planteamiento de Xenakis, las máquinas que escuchan (explicadas en el apartado anterior) parten del principio de la teoría de la información, al estar basadas en el análisis y procesamiento de la información a través de canales de comunicación, y al garantizar la inteligibilidad de los mensajes transmitidos entre la máquina y el compositor. Asimismo, el uso de un subsistema probabilístico dentro del sistema interactivo emergente puede ser clave para determinar la dinámica de las estructuras sonoras emergentes que se están buscando.

Por otro lado, después de hablar de tantos sistemas autónomos en mayor o menor medida, surge la necesidad de preguntarse ¿dónde queda la performatividad y la expresividad artística humana en un sistema como el de las máquinas sonoras, entendido como un sistema automatizado con reglas de operación predefinidas y programadas por el artista que funcionan

independientemente de su creador? El énfasis de la obra sucede a partir del sistema interno de programación del sistema donde la resultante sonora al ser reproducida por las bocinas, reemplaza completamente el papel del intérprete y de su expresividad, sus movimientos, su gestualidad, su pasión. Lo que queda para el público es solo esa cualidad abstracta del sonido que desenvuelve su trayectoria a través del espacio-tiempo. El papel que juega el público en la obra se concibe como un elemento dentro de este sistema dinámico emergente. La noción de tener que ser parte de la obra cobra sentido en contraposición a la idea de tener que ser un espectador de aquel intérprete/compositor que ha pasado una cantidad interminable de horas para desarrollar sus capacidades expresivas dentro de un contexto musical determinado. Lo que sucede dentro del sistema es un ir y venir, un intercambio de información constante que, mediada por instrumentos tecnológicos, deja entredichas las cualidades aurales por su fuente de producción transmutable. Aquí el foco de atención se centra en la creación de un momento sonoro constante provocado por la colectividad, a través de las interrelaciones entendidas como el nivel, grado o la fuerza de las conexiones que existen entre todos los agentes.

Por otra parte, la única y principal fuente sonora en el sistema es el ruido blanco, que contiene de una forma factual todos y cada uno de los sonidos que puede percibir el humano y más aún, de una forma metafórica, toda la música que se ha creado y que falta por crear hasta el fin de nuestros tiempos. Pero qué es lo que pasa dentro de un sistema con la capacidad de escuchar su entorno, reaccionar a él y que además, de manera conceptual, sería capaz de crear toda la música que hay por existir, ¿realmente sería posible? ¿se le puede llamar a esto una forma de inteligencia? ¿O más bien sería la misma inteligencia humana depositada en mecanismos más



complejos extendiendo las herramientas, posibilidades y capacidades humanas para aproximarnos y transformar la realidad?

Otro punto interesante aquí sería analizar cómo es que estas otras formas de aproximarnos a la realidad nos están cambiando como seres humanos, y qué tan conscientes somos actualmente de todos estos cambios, qué nos quitan, qué nos agregan, en qué nos transforma vivir una vida llena de la inmediatez de los procesos. Sería muy exhaustivo hablar de estos temas y quizá implicarían otra tesis alcanzar a comprender cómo es que la mediatización tecnológica en nuestra realidad va ganando un terreno significativo que se extrapola en cada nivel del quehacer cotidiano social.

Regresando al tema principal ¿qué se busca al generar un sistema complejo emergente cuyas resultantes sonoras no son fácilmente controlables y que se caracterizan por su impredecibilidad? Esta es la parte medular que justifica por qué me interesó a nivel estético trabajar con un sistema de tales características. La idea principal es generar algo que pueda sorprenderme nuevamente cada vez que es ejecutado o interpretado, retomando a Chris Salter, algo que mantenga su inmediatez y su viveza, que a pesar de que sea de alguna forma determinado, permita acceder a niveles de desconcierto, incertidumbre y a veces hasta miedo. A mí particularmente me interesa navegar por terrenos desconocidos, en cuya realidad me sea posible reconocer objetos que tal vez ya conocía, pero que en otro contexto, pueden representar algo completamente diferente a la experiencia que ya tenía de ellos. Por ejemplo, los pedales que se llegan a generar en las máquinas sonoras podríamos decir que son de lo más usado en expresiones actuales del arte sonoro, la diferencia aquí es cómo evolucionan e interaccionan con otras estructuras más complejas sin siquiera haberlo planeado. A partir de esta noción son creadas las estructuras en este tipo de sistema que a su vez crean la macroestructura de la totalidad del momento

sonoro. Esta idea de macroestructura es la que me atrae y motiva a seguir modelando futuros sistemas, para generar un intersticio de estructuras que se encuentren entre lo predecible y lo impredecible, entre lo trascendente y lo efímero, entre lo concreto y lo etéreo, entre lo racional y lo abstracto. Considero que es necesaria una renovación en muchos ámbitos sociales, científicos y artísticos que nos permita aproximarnos a fenómenos cotidianos y conocidos de otras formas; si bien no creo en lo nuevo sí estoy convencido de que las cosas tienen que renovarse, reinventarse, recrearse para poder seguir existiendo.

Finalmente, lo que me permitió generar la tipología de las máquinas sonoras planteada en el capítulo 2, fue una suerte de ejercicio sistemático de organización por categorías de los sistemas sonoros y musicales que han sido empleados en las últimas décadas por compositores/artistas/programadores, que me llevó a comprender el contexto donde se sitúa el proyecto planteado en términos históricos, estilísticos, estéticos y técnicos. Aún existen algunos huecos y faltan muchos detalles por cubrir tanto conceptual como técnicamente en el desarrollo de mi proyecto sobre máquinas sonoras, los cuales serán desarrollados en un proyecto futuro. Adicionalmente espero que esta tipología, así como el recorrido histórico y de proyectos sean lo suficientemente claros y amplios y puedan servir como base a otros para el desarrollo de proyectos similares en el futuro.

## Bibliografía

Anderson, Christine. Dynamical Networks of Sonic Interactions. An Interview with Agostino Di Scipio. *Computer Music Journal*, 29:3, pp. 11–28, Fall 2005 Massachusetts Institute of Technology.

Anne, Fiebrink Rebecca. *Real-time Human Interaction with Supervised Learning Algorithms for Music Composition and Performance* (tesis doctoral). Princeton University 2011.

Birkin, Guy. *Aesthetic Complexity: Practice and Perception in Art & Design* (tesis doctoral). Nottingham Trent University, (2010).

Boer, de Bart. *A Realistic Model Of Emergent Phonology*. Brusel: Vrije Universiteit Brussel, extraído de <http://uvafon.hum.uva.nl/bart/papers/deBoerAlmemo98-04.pdf> Consulta: 7 de marzo 2016.

Cage, John, *Silence*, Middletoen Wesleyan University Press, 1973.

CEPAL Charlas Sobre Sistemas Complejos Sociales (CCSSCS): serie de 9 videos en línea sobre la ciencia de los sistemas complejos sociales; <http://www.martinhilbert.net/CCSSCS.html>

Chadabe, Joel. Interactive Composing: An Overview. *Computer Music Journal*, 8:1, pp. 8–23, Spring 1984.

Christensen, Erik. *The Musical Timespace, a Theory of Music Listening*. Aalborg: Aalborg University Press, 1996.

Chomsky, N. 1956. Three models for the description of language. Massachusetts, MIT, 1956, pp. 113-124.

Collins, Nick. *Towards Autonomous Agents for Live Computer Music: Realtime Machine Listening and Interactive Music Systems*, (tesis doctoral). University of Cambridge, 2006.

Collins, Nick. Automatic Composition Of Electroacoustic Art Music Utilizing Machine Listening. *Computer Music Journal*, 36:3, pp. 8–23, Fall 2012.

Collins, Nick. *Live Coding and Machine Listening*. Durham University, Department of Music.

Di Scipio, Agostino. Audible Ecosystemics n.2ª (feedback study) solo live-electronics (score) Edwards, M., Algorithmic Composition: Computational Thinking in Music, Communications of the ACM, Vol. 54 No. 7, pp. 58-67

Di Scipio, Agostino. *Audible Ecosystemics n.2ª (feedback study) solo live-electronics* (score).

Di Scipio, Agostino. "Sound Is The Interface": from interactive to ecosystemic signal processing. Organised Sound, 2003 8(3).

Doornbusch, P. *Answers to Questions of Paul Doornbusch About "Mapping"* en [http://eamusic.dartmouth.edu/~larry/misc\\_writings/talks/about\\_mapping.html](http://eamusic.dartmouth.edu/~larry/misc_writings/talks/about_mapping.html)

Edwards, M., Algorithmic Composition: Computational Thinking in Music, Communications of the ACM, Vol. 54 No. 7.

Eaton, L. Manford, Bio-Music, Something Else Press, 1973.

Ellis, Daniel P. *Prediction-Driven Computational Auditory Scene Analysis* (tesis doctoral). Massachusetts Institute of Technology, 1996.

Facundo, Mirtha, Juego musical de dados de Mozart, Extraído de [http://www.j-music.es/FileUpload/articulos/gen014-ARTICULO\\_Juego\\_Musical\\_de\\_dados\\_de\\_Amadeus\\_Mozart\\_j-m.pdf](http://www.j-music.es/FileUpload/articulos/gen014-ARTICULO_Juego_Musical_de_dados_de_Amadeus_Mozart_j-m.pdf)

Galanter, Phillip, What is Generative Art? Complexity Theory as a Context for Art Theory, Generative Art Proceedings, Milán 2003.

Griffiths, Paul, "Serialism." *Grove Music Online. Oxford Music Online*. Oxford University Press, <http://www.oxfordmusiconline.com/subscriber/article/grove/mus/25459>  
Consulta: 13 de Febrero, 2015,

Husbands, P. et al. An Introduction to evolutionary computing musicians, en Reck Miranda E. et al. *Evolutionary computer music*, NY: Springer, 2007.

Harley, James. *Xenakis, His Life In Music*. New York and London: Routledge, 2004.

Herrmann, Thomas. et al. *The Sonification Handbook*, Berlin, Cost, 2011.

Hoydahl, Johannes. *Evolutionary Music Composition: A Quantitative Approach*. Trondheim: Norwegian university of science and technology, 2011.

Husbands, Phill. et al. An Introcution To Evolutionary Computing Musicians, en E. Reck Miranda y J. Al Biles (Eds.) *Evolutionary Computer Music*. NY: Springer, 2007.

Jensen, Høydahl J. *Evolutionary Music Composition* (tesis de maestría). Norwegian University of Science and Technology, 2011.

Kauffman, A. Stuart. The Sciences of Complexity and "Origins of Order", en *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Volume Two: Symposia and Invited Papers (1990), pp. 299-322, The University of Chicago PressPhilosophy of Science.

Kirnberger, Johann Philipp, Würfel-Menuet (score), extraído de <http://conquest.imslp.info/files/imglnks/usimg/e/e2/IMSLP121713-WIMA.2ba3-menuet.pdf>

Kramer, Gregory, ed. (1994). *Auditory Display: Sonification, Audification, and Auditory Interfaces*. Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity. Proceedings Volume XVIII. Reading, Maddison-Wesley.

Lajaren. A. Hiller, Jr., Computer Music, Scientific American Journal, 201 Issue 6, Dic 1959.

Langston, Peter, Six Techniques for Algorithmic Music Composition, tomado de <http://peterlangston.com/Papers/amc.pdf>

Lara, Rossana. *Poner la escucha en (corto) circuito. Arte electrónico y experimentación sonora en México: dos décadas*. (tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México 2016.

Ligeti, György. Über Form in der Neuen Musik, *Darmstädter Beiträge zur neuen Musik 10* (1966), pp. 23–35.

Luhmann, Niklas. *Art As A Social System*. California: Stanford University Press, 2000.

Manzo, V. J. *Max/Msp/Jitter For Music A Practical Guide To Developing Interactive Music Systems For Education And More*. New York: Oxford University Press, 2011.

Mauldin, Michael (1994), "ChatterBots, TinyMuds, and the Turing Test: Entering the Loebner Prize Competition", *Proceedings of the Eleventh National Conference on Artificial Intelligence*, AAAI Press, retrieved 2008-03-05 (abstract).

Marchini, M., Purwins, H. Unsupervised Generation of Percussion Sound Sequences from a Sound Example, 2010, Universitat Pompeu Fabra.  
McDermott, James. et al. Evolutionary Computation Applied To Sound Synthesis, en J. Romero, y P. Machado (Eds.) *The Art of Artificial Evolution: A Handbook on Evolutionary Art and Music*, pp. 81–101. Berlin: Springer, 2007.

McDermott J., Sherry Et al. Creative Transformations: How Generative and Evolutionary Music can Inform Music HCI

Nierhaus, Gerard, *Algorithmic Composition, Paradigms Of Automated Music Generation*. NewYork, Mörlenbach, Germany: SpringerWien, 2009.

Pritchett, James, *The Music of John Cage*. Cambridge University Press, 1993.

Prévost, Edwin. Free Improvisation in Music and Capitalism: Resisting Authority and the Cults of Scientism and Celebrity, en A. Mattin Ilies (Ed.) *Noise and Capitalism*. Donostia - San Sebastian: Kritica, 2008.

Solomos, M. y Meric, R. Audible Ecosistemas and Emergent Sound Structures in Di Scipio's Music Music Philosophy Helps Musical Analysis. *Journal of interdisciplinary music studies*, 2009 8 (1&2) pp. 57-76.

Seth Lloyd. Measures of Complexity: a Nonexhaustive List. *IEEE Control Systems*. Aug; 2001.

Supper, Martin. A Few Remarks on Algorithmic Composition. *Computer Music Journal* 25, 1, 48-53, 2001.

Scheirer, Eric D. *Music-Listening Systems*, (tesis doctoral). Massachusetts Institute of Technology, 2000.

Reinholdtsen, T. *Los sonidos no me interesan* (versión reducida). Traducción: Segio Bové. Original: "Paregon", Oslo: abril 2005.

Ryan, D. and Lachenmann, H. Composer in interview: Helmut Lachenmann. *Tempo 210* (1999).

Sarafin, S. Sonic Interaction Design, *The Sonification Handbook*, Berlin, Cost, cap. 5.

Sergio, Morales, ¿qué son las ciencias de la complejidad?, The University of Warwick, Estrasburgo, Francia, 2012

Turing, A.M. *Computing Machinery and Intelligence*. *Mind*, LIX: 433-460, 1950.

Wooller, Rene, Brown et al. A Framework for Comparison of Process in Algorithmic Music Systems. *Generative Arts Practice*, Sydney: Creativity and Cognition Studios Press.

Xenakis, Iannis *Formalized Music*. NewYork: Pendragon Press, 1992.

Turning Perturbation Into Emergent Sound, and Sound into Perturbation, extraído de <http://www.interferencejournal.com/articles/noise/turning-perturbation-into-emergent-sound> Consulta: 7 de Marzo 2016.

Wever Warren. Science and Complexity. *American Scientist*. 36:536-544, 1948.

Willson, Scott, Cottle D. et al. *The Supercollider Book*. London: The MIT Press, 2011.

Wooller, R, et al. A Framework for Comparison of Process in Algorithmic Music Systems, Sydney, *Generative Arts Practice*, Creativity and Cognition Studios Press, pp. 109-124.