

**inSets:**  
**hacia la esencia combinatoria de la**  
**composición.**

Axel Ariel Saravía

Departamento de Música, Facultad de Artes, Universidad Nacional de Córdoba

Trabajo Final de la Lic. en Composición Musical

Dr. Sergio Patricio Poblete Barbero

14 de Abril 2023

# CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	4
MARCO TEÓRICO .....	6
1 La obra en movimiento y la teoría de la información .....	7
1.1 La obra abierta / la obra en movimiento .....	7
1.2 La apertura desde la teoría de la información .....	11
1.2.1 Hacia un mundo de probabilidades .....	12
1.2.2 Hacia una música de probabilidades .....	21
1.3 Antecedentes .....	26
1.4 Conclusiones .....	31
2 Computación, algoritmos y música .....	34
2.1 Música y computación .....	34
2.2 Música algorítmica .....	41
2.3 Música generativa .....	49
2.4 Conclusiones .....	59
DESCRIPCIÓN DE LA OBRA .....	63
3 Características .....	66
3.1 ¿A qué llamamos material? .....	66
3.2 Relaciones temporales .....	67
3.3 Duración de la obra .....	68
3.4 Efectos utilizados .....	68
4 Descripción .....	73
4.1 Algoritmo principal .....	73

4.2 Tiempo a esperar entre reiteraciones .....	76
4.3 Selección de materiales a ejecutar .....	78
4.4 Aplicación de efectos .....	83
4.5 Otros .....	88
5 Análisis de resultados .....	91
5.1 Fenómenos en la transformación de los materiales .....	91
5.2 Resultados en las relaciones temporales entre los materiales .....	94
ANEXO .....	98
A Aplicación práctica .....	99
A.1 Tiempo a esperar entre reiteraciones .....	99
A.2 Selección de materiales a ejecutar .....	100
A.3 Efectos .....	104
A.4 Algoritmo principal .....	110
B Cómo utilizar la obra .....	112
B.1 Pantalla de inicio .....	112
B.2 Añadir archivos de audio .....	114
B.3 Comenzar o frenar el sistema .....	114
B.4 Representación visual de los audios .....	114
B.5 Configuraciones generales .....	116
REFERENCIAS .....	121

# INTRODUCCIÓN

El trabajo final relacionado a este escrito tiene como objetivo principal el crear una obra musical que utilice las herramientas y tecnologías web. Con herramientas y tecnologías web nos referimos a *internet*, a software como *navegadores web*, sus interfaces de programación como la *Web Audio API*, lenguajes de programación involucrados como *HTML*, *CSS* y especialmente *Javascript*. El resultado del mismo es una aplicación web, un sistema de software, llamado *inSets*, que puede distribuirse a través de internet mediante los navegadores. Se puede acceder a esta obra mediante la siguiente url <https://insets-music.web.app/> o escaneando el siguiente código QR:



La primera parte de este trabajo escrito consta de una justificación de la obra musical realizada. Comienza por una profundización teórico-estética en relación a las obras en movimiento y la música. Obras que no se presentan como un resultado explícito y definitorio de un autor. Exoneran la idea de obra como un producto de arte terminado y la posicionan como solo una opción dentro de los resultados de la práctica. En consecuencia los roles tradicionales de autor o compositor, obra, y receptor o consumidor (definidos a

mediados del siglo XIX) se encuentran medianamente difuminados. Este concepto de obra en movimiento nace de la racionalización de la música en términos de comunicación, que no sólo remarca su esencia combinatoria, sino que también una construcción probabilística. Luego, se presenta un pequeño recorrido histórico de las herramientas que se utilizan en general, es decir, las tecnologías digitales. Se realiza una reflexión de las terminologías comunes que se encuentran con respecto a las prácticas que utilizan estas tecnologías. Y especialmente se remarca la relación que existe entre la obra generativa y la obra en movimiento.

En la segunda parte, se exhibe la descripción de la obra. Las ideas de la parte anterior puestas en práctica, es decir, nuestra propuesta de obra en movimiento o generativa diseñada para tecnologías digitales. Se exponen los elementos de la obra y su relación como sistema para generar resultados sonoros. Dentro de estos elementos se incluye la interactividad que puede llegar a existir con los usuarios que la consumen. Por último, se desarrolla un análisis de fenómenos que pueden llegar a ocurrir en las posibles representaciones de la obra.

## MARCO TEÓRICO

En esta sección se presenta el desarrollo teórico general de las ideas o temas que son implementadas o fueron de inspiración para la obra de este trabajo. Se pretende que la utilidad de esta sección no solo recaiga en el entendimiento de este trabajo, sino que ayude a esclarecer o introducir los temas que son tratados.

A gran escala, la sección se divide en dos capítulos. El primero hace referencia a cuestiones más profundas en el entendimiento de la música. Y el segundo, recorre e interpreta tópicos que son comunes dentro de la práctica de la música por computadora. Cada capítulo presenta una conclusión sobre qué impacto o qué relevancia ha tenido tal desarrollo teórico en la obra.

## 1 La obra en movimiento y la teoría de la información

En este capítulo se introduce la idea de obra en movimiento de Umberto Eco. Para el mismo se tomó como fuente principal su libro *Obra Abierta* (1992). En tal libro, se expone un marco teórico-práctico en el que intenta justificar las distintas prácticas artísticas, o, en palabras de Eco, de *poéticas*, que se estaban efectuando en los años 60 del siglo XX.

Con *poéticas*<sup>1</sup> Eco se refiere al “programa operativo que una y otra vez se propone el artista, el proyecto de la obra a realizar como lo entiende explícita o implícitamente el artista” (p. 17). Con explícita, quiere decir, las declaraciones del propio artista, y con implícita al análisis de la obra (específicamente, de la estructura de la obra) que realizan agentes externos.

Es de interés, también, la propuesta metodológica de introducir la teoría de la información para plantear, parcialmente, al arte como un proceso de comunicación.

### 1.1 La obra abierta / la obra en movimiento

En esta sección se desarrollará la idea de la obra abierta y su relación con la obra en movimiento, que se introduce en el artículo “La poética de la obra abierta” dentro del libro *Obra abierta* de Umberto Eco (1992).

El concepto de obra abierta no es una identificación categórica, sino “un modelo hipotético” (Eco, 1992, p. 17) que ejemplifica una tendencia de varias poéticas, es decir, una tendencia operativa. Aunque, desde la reflexión de este trabajo, la obra abierta no debe ser utilizada como concepto, sino más bien como una asimilación y/o externalización de ciertas prácticas y teorías de diferentes disciplinas del conocimiento por parte de las artes. En otras palabras, Eco quiere demostrar y justificar que las prácticas artísticas estaban en estrecha relación con el contexto cultural en el que se manifestaban. En este sentido menciona:

---

<sup>1</sup> Es de esclarecedora ayuda la lectura de la introducción de la segunda edición del libro original escrita en 1976 por el autor.

La poética contemporánea, al proponer estructuras artísticas que exigen un particular compromiso autónomo del usuario, a menudo una reconstrucción, siempre variable, del material propuesto, refleja una tendencia general de nuestra cultura hacia procesos en que, en vez de una secuencia unívoca y necesaria de acontecimientos, se establece, como un campo de probabilidades, una “ambigüedad” de situación capaz de estimular actitudes de acción o de interpretación siempre distintas. (Eco, 1992, p. 62)

En relación, Eco visualiza, por un lado el contexto que vive la estética, específicamente cierta discusión dentro de la misma; y por el otro, el uso de la teoría de la información dentro de los procesos de comunicación, como también, la pronunciada utilización de sistemas probabilísticos para definir situaciones y contexto dentro de las ciencias.

En el campo de la estética se plantea la “apertura” (dentro de la dialéctica de la “definitividad” y “apertura”), como elemento estético inherente a toda obra de arte. En síntesis —tal vez reduccionista— puede entenderse la “apertura” como la aceptación de distintas interpretaciones que pueden realizar los receptores de la obra de arte en el proceso de comunicación. Entonces, “una obra de arte es un objeto producido por un autor que organiza una trama de efectos comunicativos de modo que cada posible usuario pueda comprender la obra misma” (Eco, 1992, p. 33). Pero, la reacción de los estímulos, como la comprensión de los mismos, se lleva a cabo dentro de una perspectiva individual: “cada usuario tiene una concreta situación existencial, una sensibilidad particularmente condicionada, determinada cultura, gustos, propensiones, juicios personales” (Eco, 1992, p. 33).

De lo anterior, Eco reflexiona lo siguiente sobre el impacto que tienen esta observación teoría de la “apertura” por sobre la propuesta poética del artista:

(...) la estética contemporánea ha actuado sólo después de haber adquirido una madura conciencia crítica de lo que es la relación interpretativa (...). Ahora, (...) tal



conciencia está presente sobre todo en el artista, el cual, en vez de sufrir la ‘apertura’ como dato de hecho inevitable, la elige como programa productivo e incluso ofrece su obra para promover la máxima apertura posible. (Eco, 1992, p. 34)

Con esto refiere a que los artistas de su contemporaneidad al ser conscientes de que, en su recepción, una obra será siempre objeto de muchas interpretaciones, muchas veces dispares, planean o componen sus obras con la idea de generar estas interpretaciones diferentes. En otras palabras, estos tienden a aumentar la ambigüedad de su discurso.

Eco reconoce una categoría de obras que “por su capacidad de asumir diversas estructuras imprevistas físicamente irrealizadas, podríamos definir como *obras en movimiento*” (p. 38). En este sentido la *obra en movimiento* si puede verse como una categoría, que refiere a una forma de operar específica, una poética que expone la noción de obra abierta. En palabras de Eco, representa lo siguiente:

El autor ofrece al usuario, en suma, una obra por acabar: no sabe exactamente de qué modo la obra podrá ser llevada a su término, pero sabe que la obra llevada a término será, no obstante, siempre su obra, no otra, y al finalizar el diálogo interpretativo se habrá concretado una forma que es su forma, aunque esté organizada por otro de un modo que él no podía prever completamente, puesto que él, en sustancia, había propuesto posibilidades ya racionalmente organizadas, orientadas y dotadas de exigencias orgánicas de desarrollo. (Eco, 1992, p. 43)

Eco se refiere a esas obras que ponen al usuario (que puede ser el intérprete o el consumidor final, o un oyente) como agente activo en la toma de decisiones del proyecto de obra. Por ejemplo, aquellas obras musicales donde el intérprete (o el oyente) debe combinar (de forma determinada o por su gusto) eventos o fragmentos sonoros. También, las obras musicales que constan de las llamadas “partituras gráficas”, donde los intérpretes se encuentran en la situación donde deben interpretar símbolos no convencionales. Y al otro extremo, obras que omiten la caracterización de ciertos parámetros convencionales como las duraciones y las

alturas, también las dinámicas y los tipos de ataque, quedando a la libertad de decisión del intérprete. Por lo tanto cada interpretación musical de estas obras será distinta.

Eco relaciona estas prácticas con el contexto cultural con el que conviven, específicamente con los saberes de las ciencias y de los estudios sociales. Estas prácticas no nacen en un contexto aislado, sino que más bien, asimilan los distintos puntos de vista que plantean, en su contemporaneidad, las ciencias en la descripción del mundo:

El hecho de que una estructura musical no determina ya necesariamente la estructura sucesiva se ve en el plano general de una crisis del principio de causalidad. En un contexto cultural en que la lógica tiene dos valores (el *aut aut* clásico entre verdadero y falso, entre un dato y su opuesto), no es ya aquella el único instrumento posible de conocimiento, sino que la lógica se abre paso a muchos valores que permiten la entrada, por ejemplo, a lo *indeterminado* como resultado válido de la operación cognoscitiva. En este contexto de ideas se presenta una poética de la obra de arte que carece de resultado necesario o previsible, en el cual la libertad del intérprete juega como elemento de *discontinuidad* que la física contemporánea ha reconocido no ya como motivo de desorientación, sino como aspecto insustituible de toda prueba científica y como comportamiento irrefutable y susceptible de comprobación del mundo subatómico. (Eco, 1992, pp. 40-41)

Lo interesante de esta cita es que la mención del mundo subatómico no está planteado aquí como una analogía (o como metáfora), se refiere a las teorías que se desarrollaron en la física para explicar o entender el comportamiento de las partículas.

A principios del siglo XX comienza el desarrollo de la denominada estadística moderna, de la mano de Francis Galton, Karl Pearson, Ronald Fisher, entre otros. Esto mismo implica un auge por el uso y la aceptación de la estadística y probabilidad para explicar procesos en otros campos del conocimiento, como en la biología, la agricultura, la termodinámica, la medicina, la demografía, la psicología, la economía, la comunicación, entre otros. Esta utilización de la estadística y probabilidad, se aleja de la idea determinista

o absolutista de los acontecimientos, y se acerca a un campo de vista más amplio de los contextos. En este sentido se es consciente no sólo de aquellos eventos que se presentan mayor probabilidad, sino de todos los eventos probables, y se puede orientar el estudio en cualquier dirección que se desee. Por lo tanto, para el contexto en el que se encuentra Eco es sumamente aceptado que para una definición o descripción de ciertos hechos o acontecimientos, se utilice estadística y probabilidad.

Lo que Eco intenta demostrar, a lo largo del texto, es que el fenómeno artístico (como también el estudio social, la psicología, la lingüística, entre otros) externaliza estas formas de explicar y describir la realidad, de manera consciente o inconsciente:

(...) toda forma artística puede muy bien verse, si no como sustituto del conocimiento científico, como metáfora epistemológica; es decir, en cada siglo, el modo de estructurar las formas del arte refleja el modo como la ciencia o, sin más, la cultura de la época ven la realidad. (Eco, 1992, p. 40)

La obra en movimiento, como propuesta operativa, se encuentra en el centro de esta forma de ver la realidad. No propone únicamente valores de verdadero o falso sobre la obra, sino una construcción de resultados indefinidos en su origen. Eco diría: “(...) plantea nuevos problemas prácticos creando situaciones comunicativas, establece una nueva relación entre *contemplación y uso* de la obra de arte” (Eco, 1992, p. 45).

## ***1.2 La apertura desde la teoría de la información***

Esta sección es una síntesis en relación al artículo “Apertura, información, comunicación” dentro del libro *Obra abierta* de Umberto Eco (1992). En el mismo, plantea la posibilidad de incorporar la teoría de la información, como herramienta de investigación, o mejor dicho, como herramienta metodológica, a cuestiones estéticas. Esta propuesta, parecería estar impulsada por la dificultad de la estética para definir exactamente la “apertura”. Esta incorporación desplaza, o mejor dicho transforma, parte de la discusión estética en una discusión sobre la comunicación. Eco dice al respecto “(...) un análisis de la

obra de arte en términos de información no da razón de su resultado estético, sino que se limita sólo a sacar a relucir algunas de sus características y posibilidades de comunicación” (Eco, 1992, p. 72). Se advierte, que en este trabajo no será desarrollada la teoría de la información, sino más bien, solamente el punto de vista de Eco, donde tales teorías ya se encuentran trasladadas, traducidas, o aplicadas, al fenómeno que nos ocupa. Es decir, la teoría de la información es planteada aquí como teoría de la comunicación aplicada a mensajes poéticos. Las ideas que se plantean aquí han tenido una gran influencia en la observación de la música para la creación de la obra de este trabajo, por lo tanto, es imprescindible incluirla.

Es necesario realizar una aclaración con respecto a los conceptos de orden y desorden, que se cree resulta de mucha ayuda —más aún, si se propone introducirse a la lectura de Eco. Estos conceptos deben ser entendidos dentro de un sistema de probabilidades, donde el orden se traduce como aquello que tiene mayor probabilidad de ocurrir dentro de tal sistema, y el desorden como aquello que tiene menor probabilidad de ocurrir dentro del mismo sistema.

### **1.2.1 Hacia un mundo de probabilidades**

Un buen punto de partida es la denominación que aparece a lo largo del texto, el *desorden elemental*. Este puede ser visto como un sistema elemental de probabilidades. Refiere a la tendencia de la naturaleza por generar eventos equiprobables. En otras palabras, que todos los elementos que conforman el sistema tengan la misma probabilidad de ocurrir. Generalmente es pensado como base de comparación para otros sistemas de probabilidades, es decir, para medir la diferencia entre las probabilidades de los elementos de un sistema con respecto a un estado de equiprobabilidad. Se utiliza la palabra “desorden” en este sentido comparativo, ya que, partiendo de un sistema donde sus elementos tienen probabilidades diversas, un estado de equiprobabilidad es menos probable.

La aparición de un orden particular dentro de un sistema de probabilidades, está dada por las interacciones o eventos que pueden ocurrir a través del tiempo.

Específicamente, donde sea observable que ciertos eventos o consecuencias sean frecuentes dentro del sistema. Por ejemplo, supongamos que en un *desorden elemental* de eventos, la interacción de ciertos elementos comienzan a priorizar que ocurran algunos eventos por sobre otros (o a generar eventos nuevos). Estas interacciones comienzan a ocurrir de forma cada vez más reiterada, por lo que comienzan a cambiar la tendencia a generar probabilidades uniformes, a la equiprobabilidad. La nueva tendencia queda registrada (memorizada o grabada), por lo que es observable. Entonces, se comienza a conformar un sistema de orden, un sistema de probabilidades donde en esta tendencia registrada se presentan eventos más probables que todos los demás (que tendrán menos probabilidad de ocurrir).

Véase el siguiente ejemplo práctico. Tenemos el conjunto no ordenado de 4 letras {a,a,c,s} donde las permutaciones del conjunto (es decir, las combinaciones utilizando todas las letras) se encuentran en un estado de desorden elemental (son equiprobables). Nosotros queremos saber cuál es la probabilidad de que se genere una palabra de nuestra lengua española dentro del conjunto. Todas las permutaciones posibles son  $\frac{4!}{2} = 12$ , y solo 3 permutaciones forman palabras, a saber “casa”, “saca”, y “asca” (que es parte del lenguaje técnico de la biología). Por ende, las probabilidades de formar una palabra, dentro del desorden elemental, es  $\frac{3}{12} = \frac{1}{4}$ , mientras que la probabilidad de no formar palabras es de  $\frac{9}{12} = \frac{3}{4}$ , por lo tanto mayor. Ahora, restringimos las permutaciones equiprobables introduciendo la siguiente regla: “las consonantes y las vocales deben estar alternadas”. Dado este cambio, encontramos que la cantidad de permutaciones posibles es 4. Tenemos que 2 de tales permutaciones son palabras (“casa” y “saca”), y otras 2 no lo son (“asac”, “acas”), entonces existe  $\frac{1}{2}$  de probabilidades de que se forme o no una palabra.

Lo que se insinúa en el ejemplo anterior es que imponiendo reglas (que representan una interacción específica) se imponen nuevas probabilidades, y por lo tanto generan un orden. Específicamente, cuanto más reglas se imponen (o más específicas sean las mismas) sobre un estado de desorden elemental, el orden planteado será cada vez más improbable

dentro del desorden elemental previo, ya que implica que los eventos más probables cada vez sean menores y específicos en relación al conjunto.

En el caso de las palabras, el uso diario de tales conjuntos ordenados de letras y la institucionalización de reglas lingüísticas genera que ciertos conjuntos de letras tengan una mayor probabilidad de ser utilizados que otros. Eco plantea en su texto que el lenguaje es un sistema regido por probabilidades, que tiene un orden. Existen ciertas probabilidades de que, en la creación de una oración, ciertos significantes se agrupen más con unos que con otros. Las oraciones son, también, un hecho probabilístico dentro del sistema, que plantean una forma más probable de ordenar las palabras. Y por último, las palabras son el orden más probable en la combinación de letras —las letras, como los números y otros caracteres, vendrían a ser el conjunto de símbolos discretos con los que trabaja el sistema lingüístico. Entonces, el lenguaje es un sistema previsto y organizado de combinaciones posibles (Eco, 1992). En términos generales, dentro de cualquier sistema de comunicación existe un orden (que puede o no ser creado por procesos histórico-culturales, estar institucionalizado o medianamente estandarizado) que permiten la comprensión entre el emisor y el receptor. En otras palabras, como emisores de mensajes contruidos a través del lenguaje (o de sistemas de probabilidades), sabemos que tenemos una limitación en la selección de elementos para la construcción del mensaje que queremos comunicar. Y, como receptores sabemos que existe un orden probable (dado por el sistema de comunicación) en que el mensaje nos es transmitido, aquel orden que representa la forma esperada de ese comunicado. Por ejemplo, en el lenguaje español, la frase “hace calor” para referirse que existen altas temperaturas en el ambiente es una de las formas de orden de mayor probabilidad, mientras que la frase “hace estufa”, que podría ser usada para representar lo mismo, es una forma menos probable en la comunicación.

La teoría de la información se preocupa justamente por la información asociada a un mensaje, y el problema que refiere la transmisión y entendimiento de la misma, dentro de un sistema de comunicación. Esta información asociada a un mensaje refiere a la probabilidad de selección de un mensaje en una situación determinada. Warren Weaver dice al respecto:

(...) esta palabra información en la teoría de la comunicación se relaciona no tanto con *lo que se dice*, sino con *lo que se podría decir*. Esto es, la información es la medida de la libertad que se tiene para elegir al seleccionar un mensaje. (Shannon y Weaver, 1964, p. 9)

Siendo mucho más generales, partiendo de un *código de comunicación* (Eco, 1992), es decir un conjunto preestablecido de símbolos, señales o eventos (o subconjuntos ordenados de estos), la información se presenta como la elección, para la creación del mensaje que se comunica, de los elementos entre los disponibles en la situación dada. Weaver, en su artículo *The mathematics of communication*, especifica que la fuente de información (entiéndase al emisor) selecciona el mensaje deseado de un conjunto de posibles mensajes (Weaver, 1949). Por ejemplo, volviendo a la lengua española (dentro de la comunicación diaria) podríamos decir que existe mayor probabilidad de que la frase “entonces se” continúe con un verbo, como “liberó”, más que con un sustantivo, como “árbol”; o que existe mayor probabilidad de que en la frase “en el caso” continúe con las palabras “de que”, en vez de con “jirafa”. También, una secuencia de palabras como “Árboles saltan amarillo oloroso.” tiene una muy baja probabilidad de ocurrir. Aunque, se advierte que la probabilidad de la última frase no es cero, como por ejemplo, tal frase puede hacer recordar a los poemas surrealistas.

En los casos más simples o esenciales la información se mide por el logaritmo del número de elecciones disponibles en una situación<sup>2</sup>. Normalmente, un mensaje se construye de una secuencia de elecciones de un conjunto de símbolos elementales (Shannon y Weaver, 1964). Por lo tanto, en general las probabilidades de elegir un elemento no es independiente, sino que dependen de las elecciones anteriores en cualquier etapa del proceso —a esto se lo suele llamar cadenas de Markoff, y es el caso del lenguaje. Para medir las situaciones más complejas, pero más habituales, se utiliza el término entropía. Representa un punto de comparación con su uso en la termodinámica estadística, como también, se la define con la

---

<sup>2</sup> Para ser matemáticamente más exactos, tenemos que  $I(x) = -\log_b(p_x)$ , donde  $I$  es información,  $x$  es el mensaje,  $b$  suele ser 2 y corresponde a la unidad de medida de información, y  $p_x$  refiere a la probabilidad de  $x$ .

misma ecuación<sup>3</sup>. Para este trabajo, no resulta tan relevante el desarrollo de este término, pero se lo nombra por su importancia dentro de la teoría de la información. Lo relevante a resaltar es que cuando en un mensaje exista mayor libertad de elección de los elementos en una situación determinada, es decir, en términos de probabilidad los elementos son o se acercaran a una equiprobabilidad, entonces habrá mayor información. Mientras que cuando un mensaje tenga menor libertad de elección en una situación dada, entonces tendrá menor información. Eco remarca este punto: “dada una lengua como sistema de probabilidades, ciertos elementos particulares de *desorden* aumenta la información de un mensaje” (Eco, 1992, p. 68). Por ejemplo, un mensaje como “el sol saldrá mañana” parece tener mucha menos información que un mensaje como “César era Jesús”. Esto ocurre porque el primero representa un significado obvio, que puede ser demostrable cada mañana, por lo que es una agrupación sumamente probable de palabras; mientras que el segundo representa una novedad, una manera menos probable de relacionar “César” y “Jesús”.

La máxima información de un mensaje se plantea cuando, en una situación, la probabilidad de elección de todos los elementos son iguales (el desorden elemental). Mientras que la mínima información se plantea cuando las probabilidades de selección de un mensaje son muy altas. Volviendo al ejemplo anterior, el mensaje “el sol saldrá mañana” para la población de Argentina es un hecho conocido e innegable, ya que todos los días sale el sol, por lo que su construcción es sumamente probable; mientras que para la población de la Antártida, en el mes de julio o junio, esta frase representa un hecho no muy probable, por lo que esta frase en esta situación tiene mayor información. Aquí hay un punto a volver a remarcar, es importante tener en cuenta la situación dada de un proceso de comunicación. En este sentido, Weaver dice “el concepto de información aplica no a un mensaje individual, sino, más bien, a la situación como un todo, (...), en la selección de un mensaje (...)” (Shannon y Weaver, 1964, p. 9).

En el plano más general Eco plantea:

---

<sup>3</sup> La entropía según Shannon (1964) se define como  $H = -\sum p_i \log(p_i)$ , que es la misma ecuación que utiliza Ludwig Boltzmann, ajustada después por Josiah Willard Gibbs, para definir entropía en termodinámica (Brissaud, 2005).



La teoría de la información, al estudiar la transmisión de los mensajes, los entiende precisamente como sistemas organizados, regidos por leyes de probabilidades convenidas, en los cuales puede introducirse, bajo la forma de perturbación que proviene del exterior o de atenuación del mensaje mismo, una parte de desorden y, por consiguiente, de consumo de la comunicación [de aumento de información] (...). (Eco, 1992, p. 66)

Para que la transmisión del mensaje no se vaya perdiendo por consumo de comunicación, es decir, que el comunicado que se transmite no sea alterado, se trata de introducir, en el mensaje, una serie de confirmaciones, una superabundancia de probabilidades bien determinadas, por lo que se genera la *redundancia* (Eco, 1992; Eco, 1970). Weaver dice sobre la *redundancia*: “esta es la fracción de la estructura del mensaje el cual no es determinada por las elecciones libres del emisor, sino, más bien, por la aceptación de las reglas estáticas que gobiernan el uso de estos símbolos en cuestión” (Shannon y Weaver, 1964, p. 17). En relación a un sistema lingüístico, todo el conjunto de reglas sintácticas, ortográficas y gramaticales dan redundancia, construyen el paso obligado de una lengua: “(...) el orden que regula la comprensibilidad de un mensaje fundamenta también su absoluta previsibilidad [su redundancia], en otras palabras, su *trivialidad*” (Eco, 1992, p. 67). Un ejemplo típico, que refiere a la preservación del comunicado, es el siguiente:

si a través de una línea telefónica defectuosa en vez de transmitir el mensaje “llego mañana”, transmito “preveo mi llegada para mañana jueves” tengo mayores posibilidades de que el receptor, aunque sólo perciba dos tercios de lo que yo digo, pueda reconstruir la comunicación, ayudado por estos dos elementos de clarificación que he introducido. (Eco, 1970, p. 179)

Un caso más extremo está asociado a la redundancia en la construcción de las palabras, donde las consonantes determinan la palabra y las vocales son elementos de redundancia que ayudan a hacer más probable y comprensible tal palabra. Como ejemplo Eco propone,

“un conjunto de consonantes como *cbll* puede sugerirme más la palabra *caballo* que las vocales *aaó*” (Eco, 1992, p. 66).

Cabe preguntarse ahora ¿cómo se relaciona esto con la estética? Volvamos al planteamiento estético de “apertura”. Tal planteamiento tiene un impacto en la estética que termina generando afirmaciones como la siguiente: “en el fondo, la forma es estéticamente válida en la medida en que puede ser vista y comprendida según múltiples perspectivas, manifestando una riqueza de aspectos y de resonancias sin dejar nunca de ser ella misma” (Eco, 1992, p. 33). Visto esto desde la teoría de la comunicación, parecería ser que la singularidad del discurso estético viene dado precisamente por el hecho de romper el orden de probabilidades, o de utilizar aquellas agrupaciones menos probables del lenguaje que se enmarca en una comunicación común y diaria, para aumentar la información que se transmite, y así mismo, aumentar los significados posibles. Un ejemplo de esto se puede ver en el poema *Noche* de Vicente Huidobro:

*Sobre la nieve se oye resbalar la noche.*

*La canción caía de los árboles,*

*y tras la niebla daban voces.*

*De una mirada encendí mi cigarro.*

*Cada vez que abro los labios*

*inundo de nubes el vacío.*

*En el puerto,*

*los mástiles están llenos de nidos,*

*y el viento*

*gime entre las alas de los pájaros.*

Claramente la construcción, u organización, de este mensaje no está dada según las mayores probabilidades de selección (como para establecer redundancia) de la comunicación diaria de la lengua. Más bien, hay una intención en organizar las oraciones, las frases, de una manera menos probable —que introduce mayor información. El aumento de información de un mensaje tiene un impacto en la manera en que, como receptores,

interpretamos el mensaje. Sabemos (como se comentó en la [sección 1.1](#)) que, como receptores humanos, en la interpretación de un mensaje surge el “fenómeno de connotación” (Eco, 1992; Eco, 1970). Es decir, que cada mensaje se rodea de ecos y evocaciones, por lo que es un proceso individual. Entonces, en un contexto transmitir un mensaje con mayor información, un mensaje más ambiguo en relación al sistema de probabilidades del lenguaje en su utilización diaria, se presenta como un contenedor de mayores interpretaciones. En este sentido es que más arriba se hizo referencia a que este discurso tiende a aumentar los significados posibles. Un mensaje que tiene una finalidad estética es un mensaje que, por la manera en que se articula, niega o pone en crisis el orden del sistema de probabilidad. Específicamente Eco dice “lo pone en crisis organizando de manera diferente tanto los significados, como la naturaleza física de los significantes, sumiendo al receptor un estado de excitación y tensión interpretativa” (Eco, 1992, p. 75).

Aquí hay dos puntos que remarca Eco. Por un lado tenemos que “cualquier ruptura de la organización banal presupone un nuevo tipo de organización, *que es desorden respecto de la organización precedente, pero es orden respecto de parámetros asumidos en el interior del nuevo discurso*” (Eco, 1992, p. 71). Esto es algo que ya se ha descrito en la página 13. A lo que refiere es que a medida de que en un contexto ciertas prácticas se van reiterando, se comienzan a construir un orden (unas mayores probabilidades de que tales eventos ocurran) por sobre el sistema de orden que se había establecido previamente. En este sentido, los ejemplos vistos hasta el momento se fundamentan en base a la comunicación diaria de la lengua española, ya que esta ocupa gran parte de nuestra vida y un punto de comparación más amplio a todo tipo de receptor (que sepa de la lengua española). Pero, en el caso del poema de Huidobro, resulta relevante generar una comparación con el contexto histórico previo de los poemas. En este sentido ¿Qué sistema de orden se proponía antes? ¿Y qué elementos de desorden se están introduciendo en este contexto? De esta manera, la teoría de la información se introduce como un marco metodológico para observar los cambios de probabilidades de un discurso en los distintos contextos histórico-geográficos —es bastante obvio, pero cabe mencionar que justamente

este es el proceso de observación en la recolección de datos para un análisis estadístico. En este sentido, Eco señala que en el arte clásico se introducen movimientos originales en el interior de un sistema lingüístico del que sustancialmente se respetaban las reglas básicas; mientras que el poeta contemporáneo (de la contemporaneidad de Eco), más bien, “propone un sistema que no es ya aquel de la lengua en que se expresa, pero no es tampoco el de una lengua inexistente: introduce módulos de desorden organizado en el interior de un sistema para aumentar su probabilidad de información” (Eco, 1992, pp. 70-71).

El segundo punto que remarca Eco es la posición del receptor frente al mensaje. La teoría de la información asume el concepto de información como propiedad de la *fuerza*, del emisor del mensaje. Pero, como ya se vio, esta información del mensaje tiene una consecuencia directa sobre el receptor:

La actitud del *receptor* frente al mensaje hace de manera que el mensaje no permanezca ya como el punto final de un proceso de comunicación. El mensaje *se convierte en la fuerza de una nueva cadena de comunicación* y, por tanto, en una fuente de posible información. El mensaje es la fuerza de una información a filtrar a partir de un desorden inicial, el cual no es el orden en absoluto, sino *el desorden con respecto a un orden precedente*.<sup>4</sup> (Eco, 1992, p. 75)

La información a la que Eco refiere aquí, no es a lo que la teoría de la información refiere, sino que está más relacionado a lo que en la filosofía de la información se llama información semántica. Weaver (1964) tenía esto presente, decía que este hecho se refiere a las características sintácticas del destinatario, y que se podía pensar en una ampliación del esquema de comunicación, donde se incorpora un receptor semántico que realiza una segunda decodificación. Este receptor semántico estaría sujeto a hacer coincidir las características semánticas estadísticas del mensaje con las capacidades semánticas estadísticas de la totalidad de los receptores, o del subconjunto de receptores que constituyen la audiencia a la que se desea afectar –también se agregaría los “ruidos

---

<sup>4</sup> Este es uno de los problemas que Eco desarrolla más tarde en su libro *La estructura ausente* (1986) con respecto a qué ocurre cuando el emisor del mensaje o/y el receptor es un ser humano.

semánticos”, que son las perturbaciones o distorsiones semánticas que no son intencionadas por la fuente pero que inevitablemente afectan el destino. Aquí se vuelve a la individualidad que puede representar las interpretaciones que representa el concepto estético de la “apertura”.

Como último detalle, es importante tener siempre en cuenta que:

(...) la teoría de la información mide una *cantidad*, no una *calidad*. La cantidad de información corresponde sólo a la probabilidad de los acontecimientos; es diferente el *valor* de la información, que corresponde, en cambio, a nuestro interés personal por ella. (Eco, 1992, p. 77)

### 1.2.2 Hacia una música de probabilidades

Al pensar la música como un sistema de comunicación claramente se nos encienden las alarmas con respecto a que la música no es lo mismo que una lengua. Pero, la idea aquí no es realizar una comparación entre música y lengua, o traducir procesos de la lengua a la música, sino más bien, pensar la música como sistema de probabilidades, que es la base en el sistema de comunicación.

Eco (1992) plantea algunos ejemplos supuestamente “intuitivos” en el plano musical. Uno de estos es el de la sonata clásica —de la cual se han hecho y escrito una gran cantidad de estudios y textos. Siguiendo la línea de los teóricos formalistas (Caplin, 1998; Khün, 2003; Rosen, 1998; Schoenberg, 1970), es muy probable que ciertos conjuntos ordenados de notas (los llamados temas o complejos temáticos) tengan ciertas repeticiones —los temas suelen aparecer en la recapitulación, como no sería raro que aparezcan en el desarrollo. Es muy probable que estos temas se encuentren en campos armónico específicos, como por ejemplo, que el segundo tema se encuentre en el campo armónico de V si la tonalidad es mayor o la relativa mayor si la tonalidad es menor, y además, el segundo tema suele aparecer en el campo armónico de I en la recapitulación. También, es muy probable que la música se diferencie en tres secciones donde, aparte, es más probable que tal diferenciación se genere de una manera específica, como por ejemplo, que se repita la exposición para

diferenciarla del desarrollo, el desarrollo debe ser de alguna manera distinto, y al recapitulación puede presentar elementos que aparecieron en la exposición. Claramente estamos traduciendo los conceptos formalistas a un sistema de probabilidades. De esta manera se tiene una visión más amplia, al aceptar que existen otros eventos aunque sean menos probables. En este sentido resulta curioso dos cosas particularmente de Caplin (1998). La primera es que trate una sección entera para hablar de aquellas estructuras fraseológicas que están por fuera de la “norma”; y la segunda y principal, que identifica su teoría como empírica y descriptiva, que se basa en pura observación y descripción de músicas de época, el cual se puede decir que es la base de un sistema estadístico, de donde se adquieren los datos para establecer las probabilidades.

Un ejemplo más esencial es la construcción temperada de grupos de notas (sea una escala musical, o serie de notas) donde sus sonidos son periódicos (compuestos) con parciales mayoritariamente armónicos, y además, donde se establece un punto de referencia, que es el  $a_4$  en 440 hz<sup>5</sup>. Claramente representa un evento no muy probable en el campo de los sonidos que se producen en la naturaleza, son más probables los sonidos aperiódicos o con superabundancia de parciales inarmónicos. Entonces, esto plantea reglas aplicadas al campo sonoro, para generar un orden, mayores probabilidades sobre un conjunto que sobre otro. De la misma manera, la distribución métrica de los eventos sonoros en el tiempo también puede ser visto como un elemento de mayor probabilidad en ciertos estilos musicales o momentos históricos. La armonía (desde su concepción global o local, es decir, pensada como un complejo armónico o simplemente un acorde), basada en una construcción de escala musical o conjuntos de notas, puede ser pensada como un sistema de probabilidades donde es más probable que una armonía sea sucedida por otras en una determinada situación. Aquí obviamente dependerá mucho del contexto histórico, geográfico y social para establecer las situaciones donde ciertas armonías tienen mayor probabilidad de suceder. También, a través de la historia podemos diferenciar distintos tipos de piezas que organizan conjuntos ordenados de notas mediante diferentes distribuciones

---

<sup>5</sup> Se utiliza el índice acústico internacional, ver [https://en.wikipedia.org/wiki/Scientific\\_pitch\\_notation](https://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_pitch_notation).

de repetición o formas de elaboración, o mediante la distribución de distintas sensaciones sonoras, etc. Y así se podría seguir.

Hay un punto importante que se debe remarcar, y tiene que ver con la construcción del sistema de probabilidades en música. En este sentido Leonard Meyer dice “[en música] la tendencia a ciertas soluciones más que a otras es fruto de la educación y una civilización musical históricamente determinada” (Meyer en Eco, 1992, p. 81). Eco expande esta reflexión hacia una forma más generalizable, y habla directamente sobre la percepción:

La percepción de un todo no es inmediata y pasiva: es un hecho de organización que *se aprende*, y se aprende en un contexto socio-cultural; en tal ámbito, las leyes de la percepción no son hechos de pura naturalidad, sino que se forman dentro de determinados *modelos de cultura*, (...), un sistema de preferencias y hábitos, una serie de percepciones intelectuales y tendencias emotivas que se forman en nosotros como efecto de una educación fruto del ambiente natural, histórico, social. (Eco, 1992, p. 81)

Se remarca entonces que la noción histórica, social y geográfica, son el determinante de las probabilidades en los acontecimientos musicales. Esto representa una formalización de los elementos o eventos, o dicho de otro modo el asentamiento de prácticas, para la construcción de un sistema de probabilidades, el cual hace comunicable un mensaje. Pero dentro de esta representación también incluye el proceso de apertura que se existe en el mensaje poético, es decir, la búsqueda de la ambigüedad del mensaje, de las menores probabilidades (de algún evento), para aumentar la información que se transmite, y por ende aumentar el conjunto de interpretaciones. Esto podría entenderse como una constante tensión entre ambos aspectos. En este sentido Eco dice que la “tradición” en el arte en vez de ser algo inmutable e inalterable, “establece continuamente nuevas reglas y dogmas sobre la base de revoluciones continuas” (1992, p. 83). Como ejemplo especifica:

Todo gran artista, en el interior de un sistema dado, violó continuamente sus reglas estableciendo nuevas posibilidades formales y nuevas exigencias de sensibilidad:

después de Beethoven, lo que podía esperarse de quien escuchaba una sinfonía de Brahms era indudablemente distinto y más amplio de lo que se tenía antes de Beethoven, después de la lección de Haydn. (Eco, 1992, p. 83).

Por otro lado, es conocido el discurso que introduce Meyer en su libro *Emotions and Meaning in Music* (de 1956) sobre la construcción de la emoción en música. Dice que la introducción de eventos ambiguos generan un atención sobre el usuario, que los entiende como inconclusos, y produce la *necesidad o tendencia a obtener satisfacción*, es decir, a que se resuelva tal ambigüedad introduciendo eventos que sean reconocibles por el usuario. Además, agrega que el juego de inhibiciones y reacciones emotivas son las que proveen el significado al discurso musical, pero que la inhibición de una tendencia se hace significativa sólo si la relación entre tendencia y solución se hace explícita y se concluye (Meyer en Eco, 1992). El conjunto de soluciones está directamente relacionado con lo visto arriba, con los factores de educación en un contexto histórico, geográfico y social. Meyer en sus artículos posteriores *Meaning in Music and Information Theory* (de 1957) y *Some Remarks on Value and Greatness in Music* (de 1959) decide adoptar la mirada de la teoría de la información. Entonces, la ambigüedad de un mensaje, que es aumento de información, es tomada como incertidumbre en el usuario, y su solución se concreta en aproximarse a las mayores probabilidades del sistema (que no pierde su condición de modelo cultural). Siguiendo este discurso, Meyer introduce el problema del *ruido cultural*. El ruido<sup>6</sup> representa un consumo de comunicación, por lo tanto, el ruido cultural se genera en la diferencia del conjunto de probabilidades que existen en el receptor con respecto al conjunto de probabilidades que requiere un estilo musical determinado.

Meyer (como también otros teóricos) utiliza los argumentos planteados en el párrafo anterior para generar una crítica con respecto a la música contemporánea de su época (de los años 1950-1960). Advierte que tal música elimina la redundancia y aumenta a tal punto la información que impide al receptor entender el mensaje, lo cual genera una comunicación

<sup>6</sup> El concepto de *ruido* es de gran importancia dentro de la teoría de la información, pero como este trabajo no trata de crear una teoría en base de la teoría de la información, este concepto no se desarrolla.



insatisfecha o imposible. Podemos decir que para Meyer el problema se genera cuando se crea una música que se aleja lo suficiente del sistema de probabilidades de algún estilo musical existente. Esto lleva a que Eco realice la siguiente afirmación “el lenguaje musical es, pues, un sistema de probabilidades en que la improbabilidad se introduce *con juicio*” (1992, p. 82). Eco crítica a Meyer por no aceptar el propio proceso por el cual se generan las probabilidades. Es importante no olvidar que la reiteración de eventos generan un orden. En este sentido dice:

En este punto se nos ocurre que, a la larga, la tabla de las posibles incertidumbres se vuelva tan normal que entre a formar parte de derecho de las probabilidades; y, tácticamente, la que un tiempo era información se convierta en redundancia (...).  
(Eco, 1992, p. 82)

Lo que refiere Eco es que en algún momento, por la propia reiteración de eventos, se generará un sistema de probabilidades para tal música y por lo tanto existirán receptores que acepte y entienda este sistema de probabilidades. El problema que plantea Meyer no es desacertado pero es un problema que en realidad involucra a los agentes de la comunicación cuando son seres humanos, y no al estilo de música. Es decir, que tanto el receptor como el emisor tengan sistemas de probabilidades medianamente parecidos, donde el receptor pueda asimilar el mensaje del emisor desde su propio sistema de probabilidades.

Por último, y como respuesta a la apreciación que tiene Eco sobre las poéticas de su contemporaneidad, realiza la siguiente reflexión sobre la experiencia estética de las mismas:

Ahora se sitúa el acento en el proceso, en la posibilidad de identificar *muchos órdenes*. La recepción de un mensaje estructurado de manera abierta hace que la *expectativa* de que se hablaba no implique tanto una *previsión de lo esperado* como una *espera de lo imprevisto*. Y, así, el valor de una experiencia estética tiende a aparecer no cuando se cierra una crisis después de haberse abierto, de acuerdo con las costumbres estilísticas adquiridas, sino cuando —sumiéndose en una serie de

crisis continuas en un proceso donde domina la improbabilidad— nosotros ejercemos una libertad de elección. (Eco, 1992, p. 83)

Con esto, no se pretende negar el valor de la experiencia estética que plantea Meyer por la que introduce Eco, sino más bien, siguiendo la línea de apertura de Eco, en aumentar la cantidad de valores de la experiencias estéticas que se pueden adquirir.

### **1.3 Antecedentes**

En esta sección se discutirán algunas piezas musicales que han servido, de alguna manera, como modelo para la obra de este trabajo y se relaciona con lo expuesto anteriormente.

La obra *Klavierstück XI* para piano, compuesta por Karlheinz Stockhausen en 1956, consta de 19 piezas o grupos distribuidos en una hoja, donde la organización o la secuencia de estos grupos queda a cargo del pianista. Esta autonomía concebida al intérprete es, en este caso, la característica que la categoriza como “obra en movimiento”. La disposición de alturas y duraciones no es de nuestro interés —existen varios trabajos al respecto, de los cuales podemos nombrar el estudio sobre el ritmo de Truelove (1998). Lo que resulta interesante es, por un lado, que cada pieza tenga una notación de alturas y duraciones convencionales, ya que representa una decisión para que existan por lo menos dos parámetros bien definidos. Por otro lado, también resulta interesante su cualidad combinatoria y la introducción de variación de los grupos. Stockhausen, para esto, añade un conjunto de reglas. Si un grupo es elegido por tercera vez la obra se termina (sin haber tocado tal grupo). Esto representa una limitación de un máximo y un mínimo posible del largo de la secuencia de combinaciones. El máximo es que todos los grupos hayan sonado dos veces, es decir que como máximo pueden sonar  $19 \times 2 = 38$  grupos, y el mínimo es que suene dos veces un mismo grupo. Stockhausen determina 6 tipos de diferentes tiempos, 6 tipos diferentes de ataques (que pueden combinarse o diferenciarse por mano) y 6 tipos diferentes de dinámicas. Cada grupo al final indica el tiempo, la dinámica y ataque del próximo grupo a tocar (lo que muestra que los posibles valores que pueden tener los

parámetros de un grupo no son independientes, sino que dependen del grupo anterior). El tiempo, la dinámica, y el ataque del primer grupo queda a elección del pianista.

Stockhausen agrega, además, que algunos grupos en su segunda aparición deben tocarse en la primera o segunda octava por encima o por debajo según la indicación. Con todo esto se intuye que, teóricamente, por un lado la probabilidad de elegir un grupo es de  $\frac{1}{19}$ , ya que la elección de un grupo no altera la elección de los demás grupos, como tampoco a ser elegido el mismo grupo (son las probabilidades que un receptor de la obra debe esperar); y por otro lado, la cantidad máxima de formas posibles que puede tener un grupo (asumiendo la repetición como un grupo distinto) es 432, que es la multiplicación entre las 6 dinámicas, los 6 tiempos y los ataques que son  $12^7$ . Si combinamos ambos datos y pretendemos la probabilidad de un grupo en una forma determinada, cuando es posible la cantidad máxima de formas en los 19 grupos, tenemos que ese valor es  $\frac{1}{8208}$ . Este último número es bastante grande pero debe tenerse en cuenta que el reconocimiento de cada grupo está dado principalmente por su definición de alturas y duraciones, así que las distintas transformaciones posibles no representan realmente un problema en la identificación de los mismos (tal vez, solo en los casos extremos de los tiempos).

La obra *Intermission 6* para un piano o dos pianos, de Morton Feldman compuesta en 1953, tiene un aparente parecido a *Klavierstück XI*. *Intermission 6* también está compuesta por fragmentos distribuidos en una hoja, solo que la cantidad de fragmentos es 15. Es también una “obra en movimiento” ya que la obra se forma en la medida en que el intérprete toma decisiones. La diferencia con *Klavierstück XI* consta de que la notación es solo el conjunto de alturas (escritas de manera vertical) en un pentagrama. Las reglas que introduce Feldman son, primero, la obra comienza con cualquier sonido y procede con cualquier otro. La anterior es la única regla combinatoria secuencial de los elementos. Segundo, reglas que refieren a cómo debería sonar los fragmentos: el sonido de un

---

<sup>7</sup> Nos abstenemos de realizar todas las combinaciones de ataques posibles, y contamos solo las combinaciones de ataques que aparecen en la partitura, la cual muestra 12 ataques diferentes entre los 6 ataques simples, más 3 tipos de combinaciones consecutivas de ataques, más 3 tipos de combinaciones simultáneas de ataques.

fragmento debe durar como mínimo hasta que casi no sea audible (regla de duración), y todos los sonidos deben tocarse lo más suave posible (regla de ataque y dinámica). Un elemento que llama la atención es que no se determina cuando finaliza la obra. Si se es riguroso, se puede observar que Feldman especifica un mínimo de elementos que deben sonar antes de finalizar, esto es 2, pero más allá de este mínimo es el intérprete el que decide cuándo finalizar. Cabe aclarar que cada fragmento consta de un conjunto único y diferenciable de alturas, es decir, que cada grupo de alturas pertenece sólo y exclusivamente a un fragmento, lo que habilita la identificación directa de un fragmento al escuchar un conjunto de alturas determinado. Se observa que no hay ninguna indicación de cómo debe tocarse los fragmentos con conjuntos de más de una altura, lo que se intuye un grado de variabilidad en el fragmento dejado a la interpretación del pianista. Si bien existen indicaciones de duración, ataque y dinámica, parece que el límite de tales reglas dependen de la capacidad física del piano como también de la capacidad física y psicofísica del intérprete (como también de su interpretación de tales reglas). En este sentido, *Klavierstück XI* consta de un conjunto discreto y finito de valores posibles para un conjunto discreto finito de parámetros, lo cual genera que sea relativamente computable. Por el contrario, en *Intermission 6* las combinaciones dependen no solo de las limitaciones físicas del piano, sino que también, de las limitaciones físicas, emocionales y culturales del pianista.

Las siguientes observaciones resaltan qué interés se tiene en este trabajo sobre ambas obras. Primero, la utilización de un conjunto finito de elementos medianamente definidos. Segundo, tales elementos pueden combinarse sin restricciones. Tercero, se incorporan maneras de variación de los elementos. Cuarto, los parámetros de variación tienen un conjunto discreto y finito de valores, lo cual limita la cantidad de cambios posibles sobre el elemento. Cinco, que no se determina la duración o el final de la obra. Además, resulta interesante pensar qué reacción tendría *Klavierstück XI* sobre un receptor que conoce las combinaciones y formas posibles de los grupos, es decir que tenga incorporadas las probabilidades de la obra.

La obra *Scambi* compuesta en 1957 por Henri Pousseur consta de un conjunto de 16 pares de segmentos (es decir 32 segmentos en total) de música electrónica grabadas en cinta magnética, que duran 42 o 30 segundos. Estos segmentos pueden ser ensamblados de distintas maneras, ya no solo de forma secuencial como en *Klavierstück XI*, por lo que entra el plano de la superposición de segmentos en el ensamblado. Si bien Pousseur establece dos reglas para el ensamblado, luego aclara que estas son sugerencias en virtud de cómo él organizaría los segmentos. La idea original de esta obra era que el propio oyente, es decir, el consumidor final, sea el que construya el montaje de los segmentos. Claramente por los problemas y limitaciones que tenían los reproductores de cinta magnética y la falta de una producción masiva de reproductores para consumo personal, hicieron que tal obra sea solo montada en estudios (tanto por el propio Pousseur como por otros compositores, por ejemplo Luciano Berio y Marc Wilkinson) o que sea pensada para conciertos donde distintos conjunto de segmentos (o “polyphonic layer” según Pousseur) son controlados separadamente por uno o más intérpretes. Aún así, Pousseur mantenía su deseo por su idea original y decía: “puedo, sin embargo, fácilmente imaginar que un día obras como estas se entregarán al público mismo” (Pousseur, 1959, p. 12). Resulta inminente, después de esta declaración y habiendo pasado varios años de por medio, señalar la comparación de *Scambi* con la producción masiva de paquetes de archivos audio digital para la creación de canciones o beats (generalmente bajo algún estilo particular o temática) que suelen promocionar y/o vender estudios y empresas de audio en nuestros días. Sin poner en tela de juicio la obra de Pousseur o la operatoria comercial de estos paquetes de audio, el desarrollo de tecnologías digitales para consumo personal claramente ha sobrepasado las limitaciones que afrontaba Pousseur y asume como realidad su deseo.

El interés de la obra *Scambi* para este trabajo resulta en que las combinaciones no solo se realizan de manera secuencial, es decir, un elemento después de otro, sino que también se pueden combinar por superposición (esto agrega todos los desfases posibles entre la superposición de elementos). Además, la concepción de que el oyente, el consumidor final, o el receptor, y no el intérprete, sea quien organice la obra. Esto genera

que el receptor de alguna manera sea consciente de todos los elementos que conforman la obra, como también, del proceso de combinación. Se cree que esto genera una mejor comunicación de las “obras en movimiento”, ya que el receptor tiene anticipo sobre las probabilidades de combinación de elementos en el sistema. De alguna manera, también, se insinúa que las tecnologías digitales pueden ser el medio para este tipo de interacción directa entre obra y receptor.

Por último, es importante mencionar al compositor Iannis Xenakis. Éste parece adquirir un gusto estético sobre los eventos naturales, especialmente sobre esos eventos que refieren medianamente a estados de desorden elemental, como la lluvia, es decir por aquellos eventos que los gobierna el azar. Por lo tanto decide tomar como elemento regulador o de orden para algunas de sus obras las reglas del azar o distintas fórmulas de probabilidad para distribuir (en el tiempo o en el espacio) eventos o/y dar acciones a eventos. Por ejemplo, en la obra *Achorripsis* para 21 instrumentos, compuesta en 1957, se utiliza la distribución de Poisson, que sirve para calcular la probabilidad de un número de eventos en un intervalo de tiempo (o espacio), para distribuir los eventos sonoros en una matriz donde las columnas representan intervalos de tiempo y las filas grupos de instrumentos. Hay que aclarar que la mayoría de estas obras no pueden ser catalogadas como “obras en movimiento”, ya que no existe la intención de proponer al usuario (el intérprete o el público) la organización de la obra. Todas las implementaciones del azar o de probabilidades fueron calculadas e implementadas para la partitura, que se presenta como partituras convencionales. Pero, pueden ser vistos como una propuesta operativa distinta dentro del marco de las poéticas de obra abierta. La utilización del azar o de probabilidad en Xenakis está dada como una propuesta técnica contrastante a las propuestas de la denominada “música aleatoria”. Justamente, Xenakis critica a estas últimas, como por ejemplo a la improvisación del intérprete, creyendo que estas prácticas se introducen para generar eventos sonoros que se acercan a eventos naturales azarosos. Básicamente decía que los intérpretes (como cualquier ser humano) están condicionados, entonces en su condicionamiento podría improvisar al estilo de alguna otra música, por lo tanto si se quiere

añadir eventos sonoros azarosos deben ser calculados por el compositor y no dejado a la libertad del intérprete (Xenakis, 1992).

Lo que encontramos en Xenakis es la intención calculada de organizar los eventos o símbolos sonoros de manera aparente al azar, para justamente generar tal sensación. En este sentido, si volvemos al sistema de probabilidades que rige en una comunicación, se puede interpretar como la generación de mensajes con altísima información, de desorden (ya que la idea era generar una superabundancia de eventos excepcionales), en relación a un sistema de probabilidades de música más convencional. Pero la idea de Xenakis va más allá de esta interpretación, y coincide en algún punto con la última reflexión de Eco. Es un cambio de perspectiva, la idea es que el sistema de probabilidades que rige sea o se acerque al estado de desorden elemental, es decir, que las mayores probabilidades del sistema sea que los elementos sonoros tengan o se acerque a una equiprobabilidad (y hasta se podría agregar que sean independientes en el tiempo). Por lo tanto la equiprobabilidad de los eventos representaría el orden del sistema, entonces lo que se espera es lo inesperado.

Se encuentra un punto en común entre las obras en movimiento vistas y las obras de Xenakis. Las obras en movimiento en su libertad en la generación de combinaciones posibles dada al intérprete representa una construcción azarosa por parte de un receptor que conoce los elementos a combinar. Y las obras de Xenakis representan una organización azarosa por parte de los elementos musicales convencionales que conoce un receptor. Esta propuesta por lo azaroso tiene un impacto profundo en la obra de este trabajo.

#### ***1.4 Conclusiones***

Al tener conciencia sobre la aplicación de la teoría de la información en música, se puede enfocar en estrategias y tomar decisiones sobre el tipo de comunicación o sobre algunas características de la comunicación que se pretenden. En este sentido, tanto las obras en movimiento como las obras de Xenakis, tras un periodo de tiempo de utilización y práctica, construyeron su propio sistema de probabilidades el cual un receptor puede llegar

espera. Si bien los ejemplos dados fueron reducidos, se conoce que existe un vasto desarrollo en ambos caminos, agravados por las tecnologías digitales.

La obra de este trabajo presenta características de ambos modelos. Específicamente, la organización de los eventos o los elementos sonoros son, en gran parte, azarosos, es decir que estos eventos o elementos serán equiprobables e independientes<sup>8</sup> en su combinación. Esto remite a lo que se espera en las obras de Xenakis comentadas. Como es sabido, realmente es un público reducido el que puede llegar a tener incorporado este sistema de probabilidades en relación a los eventos sonoros, es decir, relaciones medianamente azarosas. Por lo tanto, se decidió buscar estrategias que, se cree, podrían mejorar la comunicación del mensaje, es decir, alivianar el impacto que podría tener la utilización de tal sistema en el receptor no conocedor —justamente el problema que menciona Meyer.

Por un lado, en la obra se trabaja con conjuntos discretos y finitos de los elementos sonoros, los parámetros de tales elementos y los valores de estos parámetros. Por lo tanto, se utilizan menos datos, y por ende, se reducen las combinaciones posibles y la variabilidad de los elementos. Aun así, en términos prácticos, estas combinaciones, teniendo en cuenta todas sus variaciones, pueden llegar a resultar demasiado grandes. La principal herramienta está incorporada por la necesidad de un usuario activo (principalmente un consumidor final, pero también como intérprete), es decir, que tome decisiones para la construcción de la obra (concepción de la obra en movimiento).

En la línea anterior, y como experimentación, una estrategia que se cree puede ayudar a la comunicación es que el usuario sea quien elija los elementos sonoros que se combinan. Esto es, en vez de esperar que un oyente entienda los símbolos o señales que se utilizan en la comunicación, el oyente los entenderá (si es un usuario activo) ya que es quien los elige. Es decir, existirá una referencia directa entre el sonido utilizado en la obra y lo que un oyente conoce.

---

<sup>8</sup> Con independientes nos referimos que los eventos van a mantener su probabilidad a lo largo del tiempo, es decir, que su probabilidad no depende del curso del tiempo. También que no son dependientes de eventos pasados (que no se reducen a una cadena de Markoff).



La segunda estrategia de comunicación que se implementa es que el usuario conozca qué posibilidades existen en la combinación de los elementos, es decir, que conozca el sistema de probabilidades que existe en la obra. Esta está dada especialmente por el impacto que puede llegar a tener en un receptor un sistema de probabilidades de un mensaje que no tenga asimilado. Además, para agregar una capa más a tal estrategia, se decidió incluir que el usuario pueda cambiar, de alguna manera, el sistema de probabilidades que se utiliza. Esto permite un compromiso más profundo por parte del usuario en el entendimiento del sistema de probabilidades que se utiliza. Claramente la misma sólo puede implementarse con sistemas de probabilidades no muy complejos, en el sentido de que no sean muy dependientes del entorno o de sí mismos, o que no sean necesarios muchos procedimientos para llegar a un resultado.

Además, por una decisión compositiva, a los elementos que introducen los usuarios se les aplica procesos de variación. Estas variaciones también utilizan un sistema aleatorio por lo tanto, también, se buscó una estrategia de comunicación. Resulta relevante que el usuario conozca que variaciones sonoras pueden tener los elementos que introducen, como además, la posibilidad de interactuar con los mismos. Esta interacción incluye tanto la elección de qué variación puede ser o no ser aplicada, como también, cómo pueden ser efectuadas esas variaciones en general. Esta tiene el mismo objetivo que las anteriores estrategias, la búsqueda de interactividad y la relación del resultado sonoro con las elecciones realizadas.

La obra de este trabajo se enfoca en lo más fundamental de la práctica compositiva, esto es, la organización de los sonidos. Si bien, la elección o construcción de los materiales musicales es importante, en especial para la definición sensible de la obra, en este caso, la primera estrategia presenta descartar esta actividad. Es decir, la obra se centra únicamente en las combinaciones y variaciones de los elementos sonoros, pero teniendo en cuenta que un elemento sonoro puede ser cualquier sonido ya que es elegido por un usuario.

## 2 Computación, algoritmos y música

Este capítulo está orientado a mencionar algunas relaciones que suelen presentarse entre la computación y la música. Por lo tanto, el capítulo se divide en dos temas principales. El primer tema solo abarca la sección 2.1, y se presentan acontecimientos históricos relevantes para la obra de este trabajo. El segundo tema abarca las secciones 2.2 y 2.3. Se realizará una reflexión sobre las terminologías *música algorítmica* (o *composición algorítmica*) y *música generativa*. Dos terminologías que parecen haberse introducido o popularizado con la utilización de la computadora en la práctica musical. Se anunciarán las problemáticas que conllevan las terminologías, como también, la importancia de las prácticas que engloban las mismas.

### 2.1 Música y computación

Esta sección no trata sobre la historia de la relación entre música y computación —para esto se recomienda la lectura de Peter Manning (2013). El propósito de este capítulo es resaltar algunos antecedentes y acontecimientos históricos que se relacionan con la obra de este trabajo.

La computadora (o sistema de cómputo digital) fue introducida en la música de manera y con propósitos muy disímiles. Algunos de los propósitos son: el cálculo de operaciones matemáticas que luego se transcriben en música, procesos de grabación, generación de ondas, los llamados procesos de mezcla, creación de partituras gráficas, reproducción de sonido, entre otros. Esto se debe a la versatilidad de la herramienta para producir distintos tipos de operaciones. Pero esto no siempre fue así, y muchas de las utilidades fueron apareciendo gracias al desarrollo de esta tecnología.

Una de las primeras y principales incorporaciones de la computadora en música está dada como herramienta de ayuda en el propio proceso de composición, específicamente en la generación de estructuras de datos musicales. En los escritos suelen denotar esta asociación como “música asistida por computadora” (Manning, 2013; Aunner, 2017). Para

principios de 1950 existían varias tendencias compositivas a utilizar funciones o ecuaciones matemáticas, como funciones de distribución de probabilidad, generación de series, álgebra de Boole, entre otros, para fundamentar la toma de decisiones compositivas en base a un conjunto de relaciones distintas a las tradicionales hasta el momento. Iannis Xenakis (1998), uno de los compositores más conocidos en implementar estas prácticas, decía que el rol de un compositor de esa época involucraba, por un lado, inventar nuevos esquemas (previamente formas) y explorar los límites de estos esquemas, y por otro lado, realizar un síntesis científica de los nuevos métodos de construcción y emisión de sonido. Es en este rol la computadora se convertía en una herramienta fundamental: “Estas exploraciones requieren impresionantes bagajes matemáticos, lógicos, físicos y psicológicos, especialmente computadoras que aceleran el proceso mental necesario para aclarar el camino a nuevos campos proveyendo verificaciones inmediatas de experimentaciones en todos las etapas de la construcción musical” (Xenakis, 1998, p. 133). Cabe mencionar que estas prácticas matemáticas, especialmente la utilización de probabilidades, fueron tomadas como práctica característica de la música con computadora —tanto es así que en el libro “Computer music” de Charles Dodge y Thomas A. Jerse le dedican gran parte del capítulo 11, *composición con computadoras*, solo a probabilidad y funciones de distribución de probabilidad.

Lejaren Hiller, con la asistencia de Leonard Isaacson, crea la obra *Illiad Suite* en 1956, para cuarteto de cuerdas. Para crear esta pieza Hiller utilizó la computadora ILLIAC I para generar datos sobre las alturas, los ritmos y otras características de la música, para luego transcribirlas a partitura. Hiller experimenta con la automatización de distintos modelos estilísticos en base a sistemas de probabilidades.

Xenakis por su parte comienza a experimentar, en 1956, con la computadora como asistente en la composición, utilizando la IBM 7090. Los modelos de probabilidad que utiliza se basan en los modelos teóricos de *Achorripsis* y no en modelos estilísticos. De estas experimentaciones escribe un programa en FORTRAN y compone ST/10-1 080262, para ensamble de instrumentos. De modificaciones del programa ST/10 compone varias obras,

ST/48-1, 240162, para gran orquesta, *Atrées* para 10 instrumentistas, y *Moraima-Amorsima* para piano, violín, cello y contrabajo. Todas estas piezas fueron completadas en 1962.

A partir de estas investigaciones iniciales, ha habido un desarrollo exponencial en este ámbito, pasando por los programas PROJECT 1 y PROJECT 2 de Gottfried Michael Koenig, la serie de programas PODn de Barry Truax, hasta las investigaciones de David Cope sobre representación de estilos musicales en modelos de probabilidad para ser utilizados en programas inteligentes, entre otros. En la actualidad, existen empresas como [dopeloop.ai](http://dopeloop.ai) que crean software de generación musical en base a distintos modelos de probabilidad o aleatoriedad. También, soundraw es otra empresa que ofrece generadores de música. Midimadness distribuye su generador *midi madness 3* que se basa en una función de distribución arbitraria de probabilidad para generar datos midi, entre otros.

Por otro lado tenemos la utilización de la computadora como herramienta de síntesis de sonido. Los primeros intentos datan de mediados 1950, donde una división de investigaciones acústicas de los laboratorios Bell Telephone, en New Jersey, Estados Unidos, se interesó de en la idea de transmitir señales telefónicas de forma digital, convirtiendo las señales analógicas en patrones de muestras numéricas, y viceversa. Si bien, para una señal telefónica convencional solo se requería un ancho de frecuencias de banda relativamente modesto, se encontró que era posible utilizar el ancho de banda completo, lo que permite manejar música con calidad de transmisión.

Max Mathewas, uno de los ingenieros de la investigación de Bell, comenzó a utilizar la computadora como un medio para sintetizar sonido, específicamente en la generación de distintas ondas. De estos trabajos crea un programa llamado MUSIC I, en 1957, que generaba una única onda triangular. A partir de este programa nace toda una serie de programas MUSICn, desarrollados por el propio Mathews como por gente que se interesa en el potencial de la computadora —cabe mencionar que CSOUND se inspira en los programas MUSICn. Si bien los algoritmos para la síntesis de sonido digital no ha cambiado mucho en relación a los comienzos, gracias al desarrollo del hardware, mejores procesadores, más

almacenamiento de memoria, aumento en la velocidad de transmisión de datos, es que fueron mejorando los programas de síntesis de sonido.

La síntesis digital de sonido no solo permitió una manera de conversión de audio, sino que además, una forma de representación que puede ser entendida y trabajada por una computadora, en base a muestras numéricas. Esto dio lugar a una nueva forma de almacenamiento, o memorización, que además, puede ser fácilmente alterable. Justamente, el almacenamiento de muestras de audio es la técnica que explotaron los primeros sintetizadores digitales, ya que era menos costoso (en términos de computabilidad) que generar muestras en tiempo real. Si bien, los sistemas y dispositivos de almacenamiento fueron cambiando a través del tiempo, claramente el almacenamiento digital representa una gran ventaja sobre otros formatos. Una de estas ventajas es que al ser una representación en términos de conjuntos discretos de números permite aplicar técnicas de análisis matemático de una manera sencilla (por lo menos más sencilla que en el formato analógico). Permite aislar con precisión los componentes constituyentes como la frecuencia, la amplitud y el tiempo, entre otros.

Uno de los problemas que tenían los compositores a mediados de 1960 era que las computadoras todavía no estaban preparadas para realizar síntesis en tiempo real, por lo que se desarrollaron sistemas híbridos (principalmente para los estudios de sonido) donde las computadoras servían como controladores de aparatos analógicos, como osciladores, filtros, etc. Esta capacidad de interacción con los procesos de generación de sonido a través de una computadora digital, generó un entorno nuevo y atractivo para el desarrollo de nuevas ideas compositivas.

Uno de los aportes más interesantes está dado por Salvatore Martirano con su Sal-Mar Construction, creada entre 1969 y 1972 en la Universidad de Illinois. La construcción es un sistema híbrido que consta de un panel de control con 291 interruptores táctiles luminosos y un conjunto de dispositivos analógicos, como osciladores, filtros y amplificadores. Esta construcción es un ejemplo de un sistema generativo de música por computadora ya que cuando se enciende el Sal-Mar genera sonidos, con diferentes timbres,

alturas, volúmenes y patrones, generalmente de manera aleatoria (pero esto puede ser programado). Aunque, en realidad el Sal-Mar no fue pensado para ser usado de la manera anterior, se construyó en base a la idea de interacción entre “intérprete” y máquina. El “intérprete” interactúa en tiempo real con el conjunto de decisiones o eventos que genera la máquina (a través del panel). En otras palabras, el “intérprete” manipula aspectos de la música (como alturas, duraciones, tiempo, patrones, distribución espacial y repeticiones), pero esta acción solo puede ser realizada luego de escuchar lo que la máquina genera ya que el “intérprete” no puede predecir realmente qué se va a generar. Esta idea del Sal-Mar no sigue la concepción tradicional de instrumento, como objeto que puede generar sonido y es controlado por un *ejecutante*, donde el envío de información entre ejecutante y el objeto se realiza mediante un vínculo, enlace o puente (Chadabe, 2019). Más bien, el Sal-Mar entra en otro paradigma, donde también existe un objeto generador de sonido (o de datos), pero que puede realizar la generación sin el control del *ejecutante*—es decir, objetos automatizados—, y el *ejecutante*—que cambiaría su rol a *transformante* o *interactuante*—no realiza la acción de control sobre el objeto, sino que más bien, interactúa propiamente dicho con el objeto, ya sea para que estas interacciones sean tomadas en cuenta por el objeto en lo que genere o para transformar (o interpretar) lo que genera el objeto. Cabe mencionar también a Joel Chadabe, que con la ayuda de Robert Moog en 1969 crearon un sistema de síntesis analógico basado en secuenciadores programables, que permitían automatizar controles. Chadabe utilizó tal sistema de síntesis para crear formas de interacción máquina/humano donde el intérprete podía interactuar con los sonidos generados por la máquina (en este caso controles automatizados generados por los secuenciadores) o viceversa, la máquina transformaba aleatoriamente lo que un intérprete (con su instrumento) generaba. De tales sistemas Chadabe compuso *Ideas of Movement at Bolton Landing* (1971), *Echoes* (1972), *Flowers* (1975) y *Settings for Spirituals* (1976). Estas obras, tanto las creadas por Martirano y las de Chadabe, entran dentro de lo que se concibe como *composiciones interactivas*. Este nombre lo denoto Chadabe y refiere a las composiciones que utilizan sistemas de música computarizados ejecutables en tiempo real para componer

e interpretar música (Chadabe, 1984). Para Hoffmann (2009) la *composición interactiva* refiere a que “el compositor o intérprete reacciona a procesos musicales generados por una computadora, cambiando estos procesos o activando otros nuevos” (p. 84). Para ser no ser tan generales, un nombre más conciso puede ser *composición interactiva con el computador*, y hasta sería mejor diferenciar a las metodologías que refieren a procesos de composición para realizar un producto final, de aquellas que refiere a la utilización en el momento de interpretación —que hacen alusión, más bien, a obras en movimiento o a la improvisación. Más allá de esto, esta interactividad con la computadora tuvo un gran desarrollo, que floreció en el momento en que se pudo realizar síntesis digital de audio en tiempo real en computadoras personales.

Recién a mediados de 1970, con los grandes avances del software digital, como los microprocesadores, se comenzaron a crear programas y dispositivos de síntesis en tiempo real, como los sintetizadores digitales. Uno de los primeros sintetizadores digitales fue el Synclavier creado por John Appleton, Sydney Alonso, y Cameron Jones. Tanto Salvatore Martirano como Joel Chadabe aprovecharon estos avances (como también los siguientes desarrollos de la tecnología digital) para aplicar sus ideas. Martirano construyó una máquina parecida a Sal-Mar pero esta vez completamente digital, llamada YahaSALmaMAC. Joel Chadabe junto con Roger Meyers desarrollan un programa llamado PLAY, en 1977, que fue diseñado para ser utilizado con una computadora portátil que controla un sintetizador externo, analógico o digital, en tiempo real y con una gran capacidad de interacción. Con este programa, un sintetizador digital Synclavier personalizado, y dos antenas de Theremin, Chadabe compuso *Solo* (1978) y *Playthings* (1978).

A partir de 1980 las computadoras de trabajo avanzadas pudieron realizar síntesis digital de sonido en tiempo real (de manera razonable) gracias a microprocesadores especiales diseñados para procesar señales digitales (conocidos como DSP, por sus siglas en inglés, *Digital Signal Processor*). Siguiendo este desarrollo, en los años 1990, las computadoras personales (mucho más baratas) comenzaron a realizar síntesis digital en tiempo real. Por lo que desplazaron el modelo de sintetizador digital (que eran pequeñas

computadoras), por una computadora central (generalmente de usos múltiples) que podía comunicarse con otros dispositivos mediante protocolos de información (como el protocolo MIDI).

Claramente hoy en día, las distintas computadoras digitales que se utilizan, como computadora de escritorio, laptops, teléfonos inteligentes y tablets, pueden generar síntesis digital sin ningún problema (claramente ciertos dispositivos preparados para la síntesis digital, como interfaces de audio internas o externas, están más optimizados y tienen mejor rendimiento) en tiempo real (dependiendo claramente de las capacidades y la cantidad de información que se procesa, puede existir cierta demora). Específicamente los últimos tres tienen incluidos parlantes para reproducir audio y micrófonos para grabar audio.

Uno de los grandes avances, no solo para la música sino que también para la vida en general, fue el internet, especialmente cuando es pensado como una instalación de acceso público. El principal propósito del internet es la comunicación y transferencia de información digital entre computadoras. Gracias a esta tecnología tanto la transmisión de músicas y de softwares de música, como su visualización y alcance a un público mayor, fue aumentando considerablemente en comparación con cuando no existía. El gran primer paso para el desarrollo a gran escala del internet, fue a partir de los años 1990, gracias a los navegadores web, y especialmente los comerciales, como Internet Explorer de Microsoft y Netscape Browser de Netscape (empresa que luego se convertiría en Mozilla) —hay que tener en cuenta, además, la importancia que tuvieron otras utilidades de internet como la transmisión de mails, entre otros. Si bien, los navegadores web en sus inicios solo transmitían *documentos*, es decir, archivos en formato HTML (de las siglas en inglés de “Hypertext Markup Language”, que se traduce como lenguaje de marcado de hipertexto), que se acceden mediante URLs (de las siglas en inglés de “Uniform Resource Locators”), el desarrollo de los mismos amplió enormemente las posibilidades de los navegadores —la incorporación de CSS, JavaScript y más recientemente WebAssembly, como también una aceptación y desarrollo de estándares. Gracias a la llegada del estándar HTML5 en 2008, los navegadores comenzaron a tener algunas posibilidades de manipulación y transmisión



directa de audio dentro de los documentos web. Pero no es hasta 2012, con la incorporación del Web Audio API (para JavaScript) en el estándar de W3C, que se pudo conseguir una buena manipulación y creación de audio a través de la programación para navegadores web —ya en el 2010 el navegador Firefox comenzó a incorporar algunas funciones para la manipulación de audio. Esta estandarización propone al navegador web como una plataforma de contenido de audio, con la ventaja de que tiene soporte en todos los navegadores —aunque algunos navegadores tardaron hasta 2015 en incorporar, ahora es parte de todos los navegadores. La mayoría de los navegadores o por lo menos los más comunes por lo general están accesibles para la mayoría de los sistemas operativos —salvo algunas excepciones como Safari y Gnome Web, la mayoría de los navegadores tiene soporte para los sistemas operativos más utilizados como Windows, MacOs, Android, Ubuntu, Fedora, entre otros. Esto justamente permite su utilización en distintos tipos de dispositivos (computadoras de escritorio, celulares, tablets, etc).

Algunos ejemplos de la utilización del navegador como plataforma de manipulación y generación de audio son: los pequeños trabajos de Patrick Borgeat en la web [cappel-nord.de/webaudio](http://cappel-nord.de/webaudio); [musiclab.chromeexperiments.com](http://musiclab.chromeexperiments.com) un repositorio de pequeños proyectos con un objetivo educacional, tal vez un proyecto comparable sea Learning Music de Ableton, [learningmusic.ableton.com](http://learningmusic.ableton.com); Wheader synth de Patrick Sherrard, [psherrard.github.io/patrickSherrardProject5](http://psherrard.github.io/patrickSherrardProject5), es una página que genera música en base a la información del clima de algunas ciudades; [unseen-music.com/yume](http://unseen-music.com/yume) es la página de promoción del álbum Yume de la banda Helios; interfaces con desarrollo gráfico como [tweakable.org](http://tweakable.org) y [pablocetta.com/waul](http://pablocetta.com/waul), entre otros; y [wiki-piano.net](http://wiki-piano.net).

## **2.2 Música algorítmica**

El concepto de *música algorítmica* o *composición algorítmica* suele utilizarse de diversas maneras. Se lo utiliza como sinónimo de música por computadora, que según Chadabe (1977) refiere a la música que es producida mediante un sistema de hardware o software que significativamente incluya una computadora. También se la utiliza como

música que está de alguna forma basada en un conjunto de reglas (particularmente discriminadas), o relacionada con la matemática o con el lenguaje matemático. Además, dados los anteriores usos, se la utiliza como un subconjunto de la música por computadora que refiere a procedimientos matemáticos, como puede ser la música asistida por computadora de la que se habló más arriba.

Varios autores centran el elemento categórico del término *música algorítmica* o *composición algorítmica* en el concepto de *algoritmo* (Essl, 2007; Nierhaus, 2009; Hoffmann, 2009). Nierhaus discrimina tres definiciones de algoritmo: “conjunto de instrucciones matemáticas que deben seguirse en un orden fijo, y que ayudará a calcular la respuesta de un problema matemático, especialmente cuando se le es dado a las computadoras”; “un procedimiento sistemático que produce (en un número finito de pasos) la respuesta de una pregunta o la solución a un problema”; y “un conjunto de reglas que deben seguirse para resolver un problema particular” (2009, p. 2). Hoffmann, por su lado, da una sola definición: “Un algoritmo es una descripción finita de un método para encontrar la solución a un problema dado” (2009, p. 134). Salvo por la primera definición de Nierhaus todas las demás no tienen una orientación a la disciplina matemática, son definiciones generalizables. Esta generalización del concepto está dada por el hecho de que un algoritmo es, en realidad, independiente al dominio de su aplicación, al lenguaje en el que está formulado (ecuaciones matemáticas, español, inglés, lenguaje de programación, entre otros), a la estrategia de elección, o la naturaleza del procesador que lo ejecuta (humano, máquina, sistema físico, autómatas celulares) (Hoffmann, 2009).

Por un lado tenemos que el término *música algorítmica* se utiliza de manera intercambiable con el término *música por computadora*. Esta relación pudo haberse generado dado que la manera de comunicarse con una computadora es mediante un conjunto de instrucciones (en algún lenguaje específico, llamados generalmente lenguaje de programación). Estos conjuntos de instrucciones suelen llamarse algoritmos, ya que la computadora debe seguir estas instrucciones para generar alguna respuesta (resolver un problema, cambiar de estado, almacenar en memoria, etc). Entonces, para crear música por

computadora debemos mandarle a la misma un conjunto de instrucciones para que sean interpretadas —que no refiere únicamente a la reproducción de sonidos. Pero, en este contexto, el término puede llegar a no ser tan categórico realmente. Se puede decir que una partitura es un conjunto de reglas (escritas en un lenguaje que sea entendible para un receptor) para reproducir sonidos de una determinada manera. Por lo tanto, se deduce que es un algoritmo que resuelve el problema de reproducir sonidos de una determinada manera (para producir una música específica), que puede ser interpretada por una persona o una máquina (generalmente depende del lenguaje en el que esté escrita). Bajo este argumento, podríamos abstraer que el propio acto de componer es el acto de creación de reglas que establecen el orden de los sonidos (o representaciones de sonidos) de una manera determinada, es decir, el acto de crear algoritmos. Entonces, toda composición que pueda ser definida dentro de un formato de transmisión para ser interpretada es un algoritmo, y por ende, pueden quedar englobadas dentro del término *música algorítmica*. Dado esto, el término presenta un primer punto de inconsistencia, ya que no es una categoría que necesariamente se restringe solo a la música por computadora, y peor aún, puede ser demasiado abarcativa.

Generalmente la mayoría de las utilidades del concepto *música algorítmica* o *composición algorítmica*, se enfocan en música donde algunas relaciones entre sonidos fueron concebidas mediante reglas preestablecidas, ya sea por los propios agentes pertenecientes a la disciplina musical o de origen externo. Del origen externo se remarcan o potencian los procedimientos que pertenecen a la disciplina matemática (como probabilidades, conjunto, grafos, álgebra, lógica, etc). En este sentido, donde existe un enfoque en el procedimiento compositivo más que en el resultado final, se prefiere utilizar el término *composición algorítmica* por sobre *música algorítmica*. Más aún, si bien gran parte de las prácticas construyen relaciones bastante diferentes entre sonidos a las que un receptor pretende en su sistema de probabilidades, otras justamente buscan reproducir diferentes sistemas de probabilidades que puede llegar a pretender un receptor. Por ejemplo, claramente las obras de Xenakis, con la utilización de funciones de distribución de

probabilidad como la de Poisson, remarcan relaciones entre los sonidos no muy comunes para un público general, y generan una música particular. Pero, las experimentaciones de Hiller o las de Cope (o las posteriores construcciones de inteligencias artificiales) que se enfocan en emular el mismo sistema de probabilidades de la música del siglo XIX, no difieren tanto de la música de tal época. Esto es lo que llevó a Nierhaus (2009) a diferenciar, dentro de la categorización del término, entre aquellas prácticas que buscan “imitar estilos”, de las demás.

Nierhaus (2009) esboza una definición de composición algorítmica: “componer por medio de métodos formalizables” (p. 1). Esta definición da a entender que cualquier “método formalizable”, algoritmo, entra en en la categoría del término, pero en su libro se enfoca especialmente en métodos que pertenecen a la disciplina matemática, como cadenas de markov, gramática generativa, inteligencia artificial, redes neuronales, entre otras, por lo que genera cierta sugestión. Essl (2007) realmente no da una definición de composición algorítmica, pero si especifica lo siguiente: “Dentro del campo de la composición algorítmica, el algoritmo constituye un modelo abstracto el cual define y controla alguno o todos los aspectos estructurales de la música” (p. 108). De una manera parecida, Nierhaus enfatiza el hecho de que el algoritmo que se utiliza debe estar aplicado a la generación de *estructuras musicales*. Una pregunta que surge es ¿A qué se refieren con estructura musical? Para responder simplemente podemos buscar qué significa el término *estructura*. La RAE (Real Academia Española) define *estructura* como “disposición o modo de estar relacionadas las distintas partes de un conjunto” (Real Academia Española, definición 1), y como “distribución y orden con que está compuesta una obra de ingenio, como un poema, una historia, etc.” (Real Academia Española, definición 3). Dado estas definiciones tenemos que una *estructura musical* es la disposición o modo de estar relacionadas las distintas partes de una música o el conjunto de elementos de una música. Teniendo esto en cuenta resulta más acertado que Essl no restrinja los métodos de *composición algorítmica* a los pertenecientes a la disciplina matemática.

Realmente no queda del todo claro qué metodologías entran dentro de la *composición algorítmica* y cuáles no. Para Essl, las metodologías serialistas son parte de la categoría, ya que en base una o distintas series de notas —que en general podemos describirla como un conjunto arbitrariamente ordenado de notas con un largo arbitrario— se convierten en el principio unificado con el cual se puede controlar distintos detalles de la música. Tenemos el caso emblemático de las técnicas dodecafónicas y la siguiente extensión al serialismo integral, donde dada una serie de doce notas distintas (en un orden arbitrario y que pueden tener un representación en símbolos numéricos) se puede generar una matriz de las permutaciones de tal serie o de alguna otra operación. También, se puede fácilmente aplicar transformaciones de la serie o de toda la matriz a través de operaciones simples como la suma, la resta y la multiplicación. Existen otros métodos seriales, como por ejemplo los que implementa el compositor Per Norgard, que refieren a la generación de la serie. Essl también acepta los métodos de la música aleatoria dentro de la categoría, donde el resultado de generar un evento medianamente aleatorio se utiliza como información para la obra, como por ejemplo las reglas del I Ching, tirar dados, entre otros. El propio Nierhaus (2009) dice:

Los parámetros estructurales o condiciones para la aplicación de un determinado material se pueden encontrar en numerosos métodos compositivos, sobre todo en el siglo XX. La técnica dodecafónica, el serialismo y la aleatoriedad son sólo algunos de los métodos para la génesis de la estructura musical. (p. 39).

Es más, varios autores (Nierhaus, 2009; Hoffmann, 2009; Essl 2007) toman antecedentes históricos que se relacionan con prácticas seriales y aleatorias, y con prácticas combinatorias —que tienen algún parecido a las obras en movimiento, como *Klavierstück XI* (ver [capítulo 1](#)). Por ejemplo, el *Micrologus* de Guido d'Arezzo, donde propone un método de estudio para diversas formas polifónicas, específicamente para *organum*, por lo que representa un conjunto definido de reglas para componer música; el principio de motetes isorrítmicos, que se crean en base a múltiples repeticiones de patrones melódicos (llamadas

*color*) y patrones rítmicos (llamadas *talea*); el *Musurgia Universalis* de Athanasius Kircher, donde describe sistemas para crear composiciones de contrapunto simple y florido; composiciones basadas en dados, como el método *Der allezeit fertige Menuetten und Polonaisencomponist* de Johann Philipp Kirnberger.

Es posible, con un poco de esfuerzo e ingenio, justificar que gran parte de los métodos de composición pueden ser pensados en algún punto como algoritmos (por ejemplo las reglas de la armonía funcional, reglas de contrapunto, métodos transformación, creación de estructuras fraseológicas clásicas, *fortspinnung* barroco, el modelo y las relaciones de la forma Sonata, modelo y creación de fugas, modelos y creación de canciones en algún estilo, entre otros, ver Cope, 2000). Es cierto que pueden existir diferencias en que tan concisos y definidos pueden ser estos métodos en comparación con algoritmos de la disciplina matemática, pero se puede direccionar el problema, más bien, a lo específico que pueden ser la representaciones de significados en la formulación del método dentro del uso del lenguaje en distintos grupos sociales. Como también se puede decir que la interpretación de tales algoritmos son independientes a la formulación de los mismos, como ya se remarcó más arriba. La rigurosidad de la interpretación de los métodos o las transformaciones arbitrarias de los resultados son, en realidad, hechos indiferentes. El propio David Cope menciona la generalidad que existe en la definición de algoritmo<sup>9</sup>, dice que la aplicación literal de la definición incluye casi cualquier proceso que involucra reglas, y esto, en esencia, significa casi cualquier proceso (Cope, 2000). Además, admite que la mayoría de los compositores emplean algoritmos cuando componen, aplican reglas, pasos, o conjuntos de instrucciones, y agrega que esto es especialmente identificable cuando se compone en un estilo particular (Cope, 2000).

De todas formas, el conjunto de prácticas que los autores suelen incluir dentro de *composición algorítmica* tuvieron un impacto en el razonamiento de la práctica de composición en sí misma. Por un lado, se encontró que los distintos sistemas de relaciones de

---

<sup>9</sup> La definición que utiliza Cope (2000) es: “conjunto de reglas para resolver un problema en un número finito de pasos” (p. 1).

las músicas convencionales —o, si se quiere, los sistemas de probabilidades más aceptados por distintas sociedades— (como músicas del siglo XVIII, XIX y XX, también podríamos incluir los estilos o géneros musicales del siglo XX como rock, pop, rap, reggaeton, etc) pueden describirse y detallarse (utilizando simbología matemática). Se comenzó a entender y reflexionar sobre el proceso de elección y decisión que puede enfrentar un compositor en el momento de creación. De tal manera, gracias a la abstracción de las posibilidades de elección, se pueden crear algoritmos —justamente, estos son los que Nierhaus dice que intentan imitar estilos— con la función de generar estas estructuras. Por otro lado, y tal vez como consecuencia, se encontró que se podía transgredir o tal vez liberar del sistema de relaciones que pretenden las músicas convencionales. Se podían crear nuevos sistemas de relaciones, a pequeña o gran escala, basándose en reglas particulares (por ejemplo el serialismo). O se podían utilizar sistemas de relaciones basadas en prácticas externas a la disciplina musical (como el cálculo de probabilidades, con alguna distribución específica, utilizar métodos de azar, o basarse en una base de datos que no pertenece al disciplina musical). Cabe mencionar que esta libertad, y en particular cuando se utilizan sistemas de relaciones que un público general no está acostumbrado, generalmente trae como consecuencia que exista, de alguna forma, una descripción del sistema de relaciones que se utiliza, especialmente si se quiere demostrar la legitimidad o validez de la estructura de relaciones que se conciben.

De esta manera, la práctica compositiva escala a otro nivel de abstracción. La composición en vez de presentarse como el proceso de selección<sup>10</sup> de sonidos y distribución de los mismos, se convierte en el proceso de decisión y desarrollo sobre *cómo* los sonidos deben ser seleccionados y/o sobre *cómo* los sonidos deben ser distribuidos. Es decir, ya no es el mero acto de seleccionar o distribuir (generalmente en base a condiciones de convención en relación a una sociedad musical), sino la reflexión sobre la selección y/o la distribución, en otras palabras, el *cómo*. Claramente, como mencionan los distintos autores,

---

<sup>10</sup> Con el término *selección* no nos referimos únicamente a la elección de sonidos, sino más bien a cómo se quiere que el sonido sea presentado. Es decir, que puede implicar distintas acciones como la creación del sonido, la elección del sonido y la transformación del sonido.

este nivel de abstracción no necesariamente debe ser utilizado en todo momento ni a todos los elementos musicales —un objetivo imposible.

Puede ser que esto último es a lo que algunos autores quieren llegar. Los distintos algoritmos que se presentan no son otra cosa que distintos modelos de relaciones que se pueden utilizar en la selección o distribución de los sonidos. Pero el problema del término *composición algorítmica* se presenta en la generalidad de la definición. Parecería muy fácil decir que todo acto de componer conlleva en parte la utilización de métodos formalizables. Como dice Cope:

En última instancia, (...) los enfoques algorítmicos son endémicos de la creatividad en general y de la composición musical en particular. Los compositores a lo largo de la historia se han apoyado en las técnicas, procesos y reglas proporcionadas no sólo por su propia inspiración, sino que también, por la época o escuela a la que pertenecieron (2000, p. 15).

Si la intención es la categorización de prácticas compositivas sería mejor utilizar terminologías más concisas como por ejemplo *composición estocástica* —no es raro encontrar este término—, o mejor, *composición por medio de funciones de probabilidad*. Claramente la terminología anterior se refiere a todas las prácticas que utilicen funciones de probabilidad para establecer relaciones, dejando abierto el tipo de función o la distribución de probabilidad que se utiliza. Una terminología más general a la anterior puede ser *composición basada en métodos matemáticos*, que se puede referir a métodos que pertenecen a la disciplina matemática, como aquellos que describe Nierhaus. Y así podemos utilizar *composición a partir de bases de datos*, *composición por medio de métodos de azar*, *composición en base a reglas individuales*, entre otros.

Se podría decir que la importancia de las prácticas que se incluyen en composición algorítmica no radica realmente en la abstracción de modelos que establecen maneras de selección o distribución de los sonidos, o estructuras musicales —esto ya existía. Más bien, se encuentra en el hecho de tomar como interés esta abstracción, aprovecharla, utilizarla como



centro de la práctica compositiva. Esta última, resulta en la determinación consciente sobre la creación o utilización de reglas, cualquier conjunto de reglas, con las que se establecen relaciones. Lo anterior da lugar a que cualquier estructura de relaciones pueda ser posible, y a la práctica, aumentan la cantidad de distintos modelos de relaciones que son aceptados para su utilización. Esto puede plantearse como una “apertura” —utilizando el término de Eco— en la práctica compositiva, a saber, como la aceptación de que se pueden utilizar métodos que resultan en estructuras de relaciones diferentes. Por lo tanto, dado esta conciencia crítica de los modelos de relaciones, la práctica de la composición, decisivamente (es decir, por elección), se torna en una descripción (medianamente rigurosa) de las relaciones utilizadas y/o de los procesos necesarios para llegar a tales relaciones.

### ***2.3 Música generativa***

El término música generativa<sup>11</sup> suele utilizarse como sinónimo de música algorítmica, o por lo menos, hace referencia a casi el mismo conjunto de prácticas. Tanto es así que el subtítulo del libro de Nierhaus (2009) *Algorithmic composition es Paradigmas de la generación de música automatizada* (del inglés *Paradigms of Automated Music Generation*).

Al igual que el término música algorítmica, el término música generativa también contiene cierta ambigüedad. Si nos centramos en la idea de *generar* podemos llegar a conclusiones demasiado generales, como por ejemplo que todo instrumentista genera música cuando toca su instrumento; todo reproductor genera sonido mediante parlantes; el acto de componer es el acto de generar música (o representaciones de las misma). Estas conclusiones salen de que toda acción genera algo, por lo tanto todas las acciones pertenecientes a la práctica del campo de la música (o del sonido) generan música de alguna u otra manera. Resulta evidente las distintas formas de interpretación, por lo que este no es un buen camino para la caracterización del término —estas interpretaciones pueden incluir la generación de emociones, de actitudes, de acciones políticas, entre otras.

---

<sup>11</sup> Existe una definición del término dada por Brian Eno, pero tal definición no va a ser tratada en este trabajo en pos de analizar el término de una manera más general.

Se podría argumentar que no es lo mismo “generar música” que “música generativa”, ya que la primera puede hacer referencia a agentes externos y la segunda a cualidades internas. El diccionario Wordreference define la palabra *generativo/va* como “[aquello] que tiene capacidad de engendrar”<sup>12</sup>. Pero, en realidad, parecería que el término música generativa no refiere a “música que tiene la capacidad de engendrar” —con lo que se podría preguntar ¿Qué se engendra? ¿Emociones, sensaciones?— sino más bien, a “aquello que tiene la capacidad de engendrar música”. Por lo tanto, si se interpreta que música generativa refiere a música que engendra música tenemos un gran problema filosófico —que se agrava aún más si se piensa en forma recursiva, en música que se engendra a sí misma. Al fin de cuentas, la diferenciación entre “generar música” y “música generativa” no es realmente relevante si se acepta la segunda definición dada: *aquello que tiene la capacidad de engendrar música*. En este sentido, podría ser considerable la utilización terminológica de *composición generativa*, *pieza generativa* u *obra generativa*<sup>13</sup>, por sobre *música generativa*. Así, se especifica el elemento que engendra y podría generar menos confusiones. Se tendría entonces que una *obra generativa* es una *obra que tiene la capacidad de engendrar música*.

De lo anterior, es necesario especificar el término *engendrar*. El diccionario Wordreference define engendrar como: “procrear, propagar la especie” (definición 1) y “causar, ocasionar o formar” (definición 2). La segunda definición dada puede ser tratada de manera muy general, de nuevo, y se puede ahondar en conclusiones como, por ejemplo, que toda obra puede causar, ocasionar o formar música de alguna manera. Tal vez, para el

---

<sup>12</sup> Se decidió la utilización del diccionario de Wordreference por sobre el de la RAE, ya que era un poco más conciso. La definición de la palabra generativa según la RAE es: “Dicho de una cosa: Que tiene virtud de engendrar”. Aun así realmente la diferencia radica en una única palabra, entre *virtud* y *capacidad*.

<sup>13</sup> Los términos *composición*, *pieza* y *obra* se toman como sinónimos en este caso. Aunque los términos *pieza* y *obra*, tal vez, están más direccionadas a la denotación de objetos abstractos que pueden llegar a ser representados como medios de transmisión, o medios de comunicación, o directamente como el producto final. Y el término *composición* puede hacer más referencia a las prácticas de composición, los elementos y procesos de producción de una pieza u obras.

fin al que se quieren llegar resulta mejor mantener únicamente la primera definición de engendrar, la idea de crear elementos de la misma *especie*<sup>14</sup>.

En realidad el término *música generativa* parecería ser una especificidad de la disciplina musical por sobre el término *arte generativo*. Philip Galanter es una de las pocas personas en buscar una definición:

Arte generativo refiere a toda práctica artística donde el artista le cede control a un sistema que puede operar con cierto grado de autonomía relativa y contribuye a o resulta en una obra de arte completa. (2009, p. 2)

Galanter tuvo varios problemas para alcanzar tal definición<sup>15</sup>. A una conclusión medianamente parecida llegan McCormack, Brown, Dorin, McCabe, Monro y Whitelaw (2014) que dicen: “En esencia, todo arte generativo se enfoca en el proceso en el cual un obra de arte es creada, pero se requiere que tal proceso tenga algún grado de autonomía e independencia sobre el artista que la define” (p. 136). Estos últimos sólo resaltan la independencia o autonomía del proceso de creación, pero estas cualidades pueden ser pensadas dentro de procesos o prácticas externas a las prácticas comunes, o consensuadas históricamente, de las disciplinas del arte, por ejemplo, los cálculos matemáticos o algunas prácticas discutidas en la [sección 2.2 Música algorítmica](#) (el serialismo en el caso de la música). Contrariamente, estos procesos o prácticas externas no necesariamente son generativas —en el sentido que se le quiere dar aquí. Además, existen procesos internos a las prácticas comunes que sí pueden ser generativos. Este problema parecería haberse generado por una falta terminológica o denotativa, por lo menos visto desde la disciplina musical hacia otras artes. La definición de Galanter es más concisa, entiende que existe un agente que opera con relativa autonomía (ya que, tal vez, opera dentro de un conjunto de

<sup>14</sup> Lamentablemente, llegado a este punto no resulta muy favorable ahondar mucho más sobre las definiciones (de diccionario), ya que podría llegar a resultar en una referenciación circular, donde un término se define por otro y el segundo se define por el primero, y así.

<sup>15</sup> La definición presentada no es la definición completa de Galanter. Éste le agrega una oración más a la definición dada, donde especifica en rasgos generales tipos de sistemas que se pueden incluir, siendo el resultado de los problemas y las modificaciones que plantea Galanter sobre su definición. Esto se puede observar leyendo los textos que publicaba año a año. Los textos pueden encontrarse en su página web <http://philipgalanter.com/>.

limitaciones dadas por el artista) al que se le cede *control*. Parecería que la palabra *control* presenta cierta ambigüedad. Se puede pensar en ceder control en el sentido de quién o qué ejecuta una obra. Esto puede ser muy relevante para las artes que presentan el proceso de producción y presentación únicamente ligado al artista creador, pero no necesariamente para la disciplina musical. El ceder control puede entenderse como crear una obra grupal, es decir, donde intervengan varios artistas en la construcción del producto final. También, se puede pensar en ceder control sobre procesos, tal vez, secundarios, como por ejemplo a una calculadora o computadora para realizar un cálculo. Pero estos últimos no necesariamente representan una obra generativa —en el sentido que aquí se le quiere dar. Una palabra más específica dentro de *control* es *decisión*. Entonces siguiendo el discurso de Galanter el artista *cede decisión*. Una *decisión* representa una elección sobre una serie de opciones, por lo tanto se excluyen los contraejemplos expuestos para *control* (por lo menos en sus formas no generativas). Es decir, se cede la decisión de que algún elemento o característica se encuentre en la obra de la única manera en que el artista lo hubiese determinado. Con esto podemos concluir que a lo que se quiere llegar es que el artista ceda decisiones sobre su objeto de arte. No importa cual es el agente externo que tome tales decisiones cedidas siempre y cuando no sea el propio artista en su proceso de producción, es decir que sean autónomos al mismo.

En este punto resulta relevante volver a recordar el término *obra en movimiento* de Umberto Eco (ver [capítulo 1.1](#)). En síntesis para Eco, la obra en movimiento es una obra por acabar, donde se ceden decisiones sobre la misma, pero que representa un conjunto de posibilidades ya racionalmente organizadas, orientadas y dotadas de exigencias orgánicas de desarrollo (Eco, 1992). Claramente hay una relación entre la conclusión anterior y la obra en movimiento de Eco. Ambas ideas se enfocan en ceder decisiones sobre el objeto de arte. La diferencia podría encontrarse en que la obra en movimiento, específicamente, presenta al objeto de arte en sí mismo como el dispositivo de generatividad, el sistema con el que otros toman decisiones. Galanter (2008) también describe este fenómeno: “Vale la pena señalar que algunos sistemas de arte generativo se utilizan para crear un objeto final, estático, de

arte y, en otros casos, es el propio sistema generativo el que se exhibe” (p. 320). Entonces, se podría distinguir entre aquellas obras musicales donde se cedieron decisiones para la creación de la misma como objeto final (como por ejemplo algunas prácticas de música aleatoria de John Cage, algunos casos de la llamada composición asistida por computadora, el sistema de inteligencia artificial Emmy o EMI de David Cope para la generación de obras en distintos estilos musicales, entre otros), y las obras en movimiento que presentan a la obra como un sistema en donde se deben tomar decisiones. En el primer caso se refiere a los procesos de producción del objeto de arte que se distribuye, mientras que el segundo, es el propio objeto de arte el que se distribuye como tal sistema de producción. Dada la distinción, se podría ser más conciso con la utilización del término, por lo menos en la disciplina musical. La primera haría referencia a una práctica compositiva, por lo que se utilizarían terminologías como *composición basada en procesos generativos* o *composición basada en decisiones autónomas*—poniendo en práctica la utilización de terminologías más concisas que se habló en la [sección 2.2 Música algorítmica](#). Estas pueden estar relacionadas con otras prácticas compositivas como la composición basada en métodos matemáticos, la composición basada en bases de datos, entre otros. Y para la segunda, utilizar realmente la terminología *obra generativa*, entendiendo el término como sinónimo de *obra en movimiento*, que refiere no a una práctica, sino a la cualidad propia del objeto que se transmite<sup>16</sup>.

A partir de esta relación entre obra generativa y obra en movimiento, se puede ahora esclarecer a qué refiere en este contexto el término *especie*, utilizado más arriba. El término *especie* se entiende como el conjunto total de posibles formulaciones o combinaciones potenciales de la obra, del objeto de arte, del sistema—claramente una abstracción, que en muchos casos son conjuntos infinitos. La representación de tales obras son una de las posibles instancias, combinaciones, engendros, que permiten las mismas.

---

<sup>16</sup> En esta última caracterización de la *obra generativa*, cabe aclarar que como el objeto mismo se distribuye como un sistema donde se deben tomar decisiones, si el agente externo que toma tales decisiones es una persona, no importa realmente si es o no el artista el que ejecute la obra, y por lo tanto que tome las decisiones cedidas.

Si bien, parecería que se ha aclarado bastante sobre el término obra generativa, existe un elemento que se debe señalar ¿Cuándo realmente se ceden decisiones? Se podría pensar que toda interpretación de un instrumentista, ensamble o director sobre una partitura (o formato de transición de una obra) se presenta como un acto de toma de decisiones. Estos deciden especialmente sobre los elementos que no están determinados, o a veces, tomando libertades sobre los determinados, creando disparidades. Por ejemplo, es sabido que las partituras de música del siglo XVII y principios del siglo XVIII eran en realidad un esqueleto, una guía, para los instrumentistas y cantantes que agregaban elementos musicales (como dinámicas, notas de adornos, pasajes improvisados, bajo continuo, entre otros), según su estilo, educación y placer. También, existían partituras que explícitamente tenían escrito floridos y adornos —generalmente cuando el editor es instrumentista y decide incorporar los elementos que cree necesarios— o que tenían escritos posibles adornos y floridos que se podían ejecutar. Aunque, se cedían este conjunto de decisiones a los instrumentistas más bien por que era la práctica social de su momento y lugar particular. Los roles de compositor e instrumentista no estaban tan definidos como un par de siglos después (Magnusson, 2019). Particularmente este ejemplo puede entenderse como un antecedente histórico. En realidad, no hay una respuesta clara. En la interpretación instrumental en general —como relación entre obra y reproducción— volvemos al problema de *apertura* y *obra abierta* que describe Eco, o específicamente al problema de la relación entre teoría y práctica. Eco dice al respecto:

Es menester distinguir aquí sutilmente el nivel teórico y definidor de la estética en cuanto disciplina filosófica del nivel operativo y comprometido de la poética en cuanto programa de producción. La estética, haciendo valer una exigencia particularmente viva en nuestra época, descubre las posibilidades de cierto tipo de experiencia en todo producto del arte, independientemente de los criterios operativos que los hayan presidido. (1992, p. 44)<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Tal vez esta sea la respuesta al por qué Eco utiliza dos terminologías distintas. La *apertura*, es decir *Obra Abierta*, haría referencia a la construcción teórica, estética, mientras que *Obra en movimiento* a la formulación práctica, operativa.

En la obra en movimiento el artista elige *conscientemente* la apertura. Decide sobre qué decisiones son cedidas para la construcción del resultado final. En la disciplina musical, no es que no se tenga en cuenta que históricamente se han cedido decisiones sobre la construcción del producto final musical a agentes externos (como instrumentistas, directores, entre otros). Más bien, se es consciente de la existencia del fenómeno, por lo tanto habilita una libertad de elección por parte del artista sobre el mismo. Este entendimiento y libertad permitió implementar el *ceder decisiones* como una propuesta operativa —como la transmisión del proceso de producción en sí mismo. En consecuencia, las decisiones que se comenzaron a ceder fueron cada vez más relevantes sobre la construcción del producto final (como por ejemplo, el orden de las partes, las duraciones, las alturas, los timbres, los sonidos, entre otros, esto se puede observar en los ejemplos vistos en la [sección 1.3](#)). Estos elementos posiblemente no entren en el conjunto de decisiones que puede asumir un instrumentista o director sobre obras no generativas (a partir del siglo XIX hasta la actualidad).

Otra pregunta que se relaciona con la anterior es ¿A qué se le ceden decisiones? Específicamente, si a lo que se cree que se está cediendo decisiones produce realmente decisiones autónomas. Esta pregunta, tal vez, pueda ayudar a despejar alguna confusión que puede existir con las prácticas de la llamada composición algorítmica, especialmente con la composición basada en métodos matemáticos o en modelos de probabilidad, como también con la utilización de la computadora, en particular con la llamada composición asistida. Resulta bastante evidente que las personas pueden tomar decisiones. Si las decisiones que toman están dentro de una limitación o un conjunto de elementos previamente pensados por un artista (o un grupo de artistas), tanto así que se puede intuir (o calcular) el conjunto de elecciones posibles, no le quita relevancia a la decisión tomada por un agente externo. Así mismo, los incentivos por el cual una persona ha realizado una elección particular resultan indiferentes en este contexto, no atenta contra la autonomía de la misma. Tal vez, las personas son el agente principal al que se le ceden decisiones. En parte porque se le pueden dar instrucciones o ideas bastante abstractas, y por el otro lado, se le

pueden otorgar una gran libertad de elecciones, apelando a su educación y sus vivencias (pueden tomar decisiones sobre parámetros entendidos como faltantes, ya sean omitidos decididamente por el artista o no). Pareciera que Eco solo tuvo en cuenta este agente de decisiones en la formulación de la obra en movimiento (especialmente a personas con roles de la disciplina musical como instrumentistas, directores, consumidores finales, entre otros), lo cual resulta entendible ya que piensa a la música como un dispositivo de comunicación entre personas.

Otro agente de decisiones pueden ser los eventos resultantes de fenómenos naturales. Un ejemplo puede ser la instalación “Órgano de marea alta de Blackpool”, donde se puede pensar que existen un conjunto de decisiones cedidas a la marea. Si bien, la anterior es una instalación permanente (por lo que temporalmente está activa hasta que se rompa o destruya) y los sonidos que genera son específicamente la serie armónica de *si* bemol, las decisiones que se ceden son la combinación de estos sonidos, como también su volumen y su duración. Otros ejemplos parecidos son el “Órgano de mar” en Zadar, Croacia, y el “Órgano de olas” de San Francisco, California, o “Singing Ringing Tree” que es una instalación sonora donde se ceden decisiones al viento. En términos reales, los fenómenos naturales no producen decisiones, sino más bien, eventos que pueden ser utilizados como decisiones. Es decir, estos eventos simplemente ocurren de manera autónoma, y las características de los mismos o sus resultados pueden servir para la concreción de una decisión. En este sentido, se pueden tomar otros eventos externos como tirar un dado o tomar una carta de un mazo. El primero limita las opciones según la cantidad de caras del dado, mientras que el segundo según la cantidad de cartas. En general, todo evento externo puede ser utilizado, ya que se le puede asignar un valor o un dato. Pero —he aquí una de las confusiones— la obra generativa se distribuye como un sistema en el cual se deben tomar decisiones, por lo tanto, la generación del evento debe ser parte de las instrucciones de la obra o los datos de los eventos externos deben actualizarse de forma medianamente



regular<sup>18</sup>. Si se utilizan un conjunto de datos externos, los mismos no deben ser estáticos, es decir, que deben cambiar a través del tiempo. La utilización de datos estáticos no representa un agente de decisión para una obra generativa, más bien, se puede llegar a entender como la utilización del ceder decisiones como práctica compositiva<sup>19</sup>. Por ejemplo, los datos de la temperatura de un tiempo y lugar determinado no pueden ser utilizados como un agente de decisión para una obra generativa. Como el evento ya se ocasionó y los datos no se actualizan en eventos similares, solamente representa una única elección. En cambio, si tales datos se actualizan de cierta manera (cada hora, día, mes, entre otros<sup>20</sup>), es decir, dejan de ser de un momento determinado, pueden ser tomados como agente de decisión para una obra generativa. Esto se debe a que posibilita que el evento pueda llegar representar diversas elecciones sobre un conjunto, y por ende una decisión.

Un problema parecido al anterior se encuentra en la utilización de operaciones matemáticas o funciones matemáticas. Cuando se realiza una operación matemática es innegable que para el valor del dominio que se elige existe un valor de imagen específico —y esto es cierto hasta en los algoritmos de secuencias pseudo-aleatorias. Más específicamente, se puede decir que un cálculo no representa una decisión, ni una elección sobre un conjunto de opciones —esto no quita que no pueda aparecer como parte de las instrucciones de la obra. Los procedimientos matemáticos, en particular aquellos que pretenden seleccionar elementos o generar valores, en realidad dependen de otros agentes que tomen decisiones. Por ejemplo, los algoritmos para generar secuencias pseudo-aleatorias o números pseudo-aleatorios dependen de un valor externo, comúnmente llamado *semilla*. Generalmente, no importa cual es el agente externo que decida la semilla,

---

<sup>18</sup> En general no importa si la decisión o el evento que define la decisión se realiza en tiempo real de ejecución, o si se realiza previamente a la ejecución de la obra.

<sup>19</sup> Siguiendo la línea de la sección 2.2, parecería mejor entender esta práctica como la utilización de un conjunto de relaciones determinadas por los datos tomados en la construcción de la obra.

<sup>20</sup> En este caso no importa realmente con cuánta frecuencia se actualizan los datos. Aunque esto puede generar que por largas temporadas la obra se mantenga con la misma formulación, como por ejemplo agarrar datos que se actualizan año a año puede resultar en que por un año entero la obra no cambie. Lo importante es que se actualicen, la idea de que existe un momento latente en el que las decisiones sobre la obra van a cambiar.

se busca un valor lo suficientemente aleatorio, es decir con la máxima entropía posible, para conseguir la mayor impredecibilidad de la secuencia o el valor que se va a producir (suponiendo que el algoritmo sea realmente bueno). Estos algoritmos son bastante importantes, ya que mayormente se incluyen como parte de algoritmos de selección o generación en base a una distribución de probabilidad específica<sup>21</sup>. Aún más, estos últimos algoritmos son parte de sistemas más complejos como Cadenas de Markov, algoritmos en base a procedimientos biológicos (como algoritmos evolutivos o algoritmos genéticos), o inteligencia artificial, entre otros. En el párrafo anterior se comentó que los eventos externos no representan necesariamente una decisión (en especial los fenómenos naturales), sino que los mismos servirían para la toma de una decisión. Lo que representa los procedimientos matemáticos anteriores es, justamente, este vínculo entre el evento y la elección, es decir, su relación. En otras palabras, dado un valor externo, que puede ser un evento como la decisión de otro agente, estos procedimientos toman una elección determinada para el mismo. Muchas veces, resulta que un simple valor externo resulta en relaciones muy complejas de elecciones. Por lo tanto, en términos reales, no podemos llamar a estos procedimientos como agentes de decisiones, pero sí como sistemas de decisiones. Son sistemas ya que pueden involucrar agentes de decisiones, procedimientos y elecciones.

Un último agente que se puede tener en cuenta es la computadora. Esta tiene dos facetas interesantes. Por un lado, es generadora de eventos. Simplemente por lo anterior se podría definir como agente de eventos externos. Pero además, la computadora puede recibir eventos a través de sus vías de comunicación con el exterior, como son, enchufes, teclados, mouses, cámaras, micrófonos, entre otros. También, puede adquirir datos sobre eventos a través de internet. Por otro lado, es una herramienta que permite la implementación de instrucciones, por lo tanto se pueden implementar los procedimientos matemáticos mencionados. Dado estos dos elementos, la computadora es una plataforma ideal para la implementación de sistemas de decisiones. Es cierto que la computadora no

---

<sup>21</sup> Se recomienda leer el capítulo 11, *composition with computers*, del libro de Charles Dodge y Thomas A. Jerse, *Computer music*, donde se enumeran algoritmos para la generación de números continuos aleatorios en distintas distribuciones, escritos en pseudocódigo (parecido al lenguaje C).

necesariamente representa un agente en todo momento, pero sí puede representar la herramienta para aplicar un sistema. Permite utilizar sus propios eventos, como otros externos a la misma, y aplicar a estos cualquier tipo de relación con una elección, a través de algoritmos. Volviendo a los procedimientos pseudo-aleatorios, justamente se han utilizado muchas propuestas para la implementación de la semilla desde la computadora. Por ejemplo, es normal que los programas utilicen el valor de la fecha y el tiempo; otros utilizan los eventos de teclado, pantalla táctil, o mouse, y generalmente se vinculan con otros eventos; y programas más sofisticados utilizan el ruido sonoro del micrófono o/y el ruido de imagen de la cámara.

## ***2.4 Conclusiones***

La música ha tenido un gran desarrollo a través de la computadora o los sistemas de cómputo digital. Claramente es una herramienta que ha facilitado la realización de muchas actividades musicales. Especialmente ha ayudado ya sea a entender o a poner en práctica distintos modelos de relaciones de los elementos musicales, como también, a la aplicación de obras generativas.

En comparación con otras herramientas, la computadora (contemporánea) tiene la ventaja de que puede realizar una vasta cantidad de operaciones en un tiempo considerablemente pequeño. Hay que tener en cuenta que un solo procesador actual puede realizar miles de millones de procesos por segundo (o aún más). Por lo tanto, se convierte en un dispositivo ideal para la aplicación de instrucciones. No hay que olvidar que se entiende el acto de componer como el acto de creación de reglas, es decir, de instrucciones, que establecen el orden de los sonidos (o representaciones de sonidos) de una manera determinada. En particular resulta ideal para aquellas instrucciones que son tediosas o laboriosas, y en consecuencia que llevan mucho tiempo realizarlas para las personas, como por ejemplo la realización de operaciones matemáticas ¿A alguien se le ocurriría pedirle a un instrumentista realizar una serie de cálculos previos para ejecutar una nota? Claramente habría que atenerse a las consecuencias del tiempo que podría existir entre nota y nota

relacionado con el tiempo que conlleva la realización de los cálculos. Resulta entendible la importancia que le da Xenakis a la computadora cuando se dio cuenta que reducía considerablemente su tiempo de realización de cálculos de probabilidades implementados a mano.

De manera parecida, el internet (que no puede existir sin una computadora) permite la comunicación (ya sea de texto, de audio, visual, o multimedial) desde cualquier lugar casi de manera inmediata. Lo que facilita la adquisición de datos, el almacenamiento remoto, la interacción de múltiples personas, o máquinas, de distintos lugares, entre otros.

A todo lo anterior se le agrega que las cualidades mencionadas de la computadora pueden, en general, ser aplicadas en tiempo real. Por lo tanto, posibilita un ambiente fértil para la aplicación de la composición basada en métodos matemáticos, composición a partir de bases de datos, cualquier conjunto de reglas para crear modelos de relaciones particulares. Especialmente, la aplicación de estas prácticas en tiempo real permiten la implementación de obras generativas que puedan basarse en relaciones o sistemas bastante robustos y complejos.

Específicamente, en las obras generativas, la implementación de la computadora para ejecutar sistemas de decisiones (es decir, relaciones que pueden involucrar diversos agentes, pero en particular que utilizan diversos algoritmos matemáticos) abre un vasto camino de posibilidades en las formas de elección. Por ejemplo, se puede emplear una distribución de probabilidad específica, como también operaciones de probabilidad más complejas (por ejemplo Cadenas de Markov), que puede utilizar valores de una base de datos externa que se actualice, o por el contrario, que puede seleccionar un valor de tal base de datos, y el resultante puede servir como referente de un elemento musical, o utilizarse dentro de otro algoritmo, y así. Es decir, se puede hacer que, en vez de utilizar directamente interacciones de agentes de decisiones, como las personas, utilizar interacciones más pequeñas y procesarlas. Por lo tanto, la decisión es en realidad el resultado de tal proceso. Hasta se puede llegar a emular el conjunto de elecciones que podría tener alguna persona con inteligencia artificial.

En este sentido, la computadora es una herramienta que permite una construcción sumamente detallada de sistemas de decisiones. Permite, por un lado, tener más control sobre los modelos de decisiones que se quieren implementar en las obras generativas, y por el otro aumentar los modelos de decisiones que se pueden implementar.

La obra de este trabajo implementa como principal herramienta la computadora. Se utiliza para ejecutar la obra en tiempo real, es decir para interpretar las instrucciones de la misma como también reproducir el resultado sonoro en el momento en que se la consume. También, se la utiliza para desplegar una interfaz que permita la interacción con personas, es decir, que posibilite pequeñas interacciones (decisiones) del usuario.

Se decidió especialmente la utilización de tecnologías web por los beneficios que conlleva. Las tecnologías web son multiplataforma, esto es que se pueden utilizar en distintos sistemas operativos como en distintos dispositivos (computadora de escritorio, laptops, celulares, tablets, etc.), por lo que facilitan el proceso de desarrollo. Al estar orientado hacia el internet permite una gran accesibilidad espacio-temporal, es decir, que la obra puede estar habilitada desde cualquier lugar del mundo a cualquier hora (siempre y cuando esté almacenada en un servidor web activo).

La obra de este trabajo, dado lo expuesto en el capítulo, es una obra generativa. Es decir, la obra se presenta con un conjunto de decisiones cedidas que se implementan en el momento de ejecución —gracias a la computadora. El sistema de decisiones que se utiliza está coordinado por pequeñas interacciones de una persona (el usuario), una función pseudo-random que implementan las tecnologías web y algoritmos de distribución de probabilidad, específicamente de distribución uniforme (lo que se llama aleatoriedad) y distribución arbitraria (dada por las decisiones que puede tener el usuario). Es importante destacar que, en este caso, las decisiones que pueden implementar las personas en la obra no representan una elección directa de los elementos musicales, sino que solamente influyen en el propio sistema —para ver las decisiones que se ceden al usuario revisar las conclusiones, [sección 1.4](#), del capítulo 1. Esto está dado por el modelo de interacción entre máquina/humano o instrumento/instrumentista que se mencionó en la [sección 2.1](#). Es decir,

no se ejerce un control del humano a la máquina, sino que existen influencias entre ambas entidades.

Por último, al principio del capítulo 1 se nombra que las ideas de Eco eran hijas del contexto en el que vivía. Bien, la decisión sobre la utilización de tecnologías digitales, como también de la conciencia sobre las estructuras de relaciones y la utilización de obras generativas son parte del contexto en el que se vive —por lo menos en el momento en que está siendo escrito este trabajo. Tor Magnusson (2019) se preocupa por entender cuáles son las músicas del futuro, especialmente, cuáles son las músicas o prácticas musicales que se presentan como nuevas, y cuál es su relación con el contexto actual y el pasado. Llega a la conclusión de que en este momento (es decir en este siglo) recién se están explorando realmente las cualidades únicas de las tecnologías digitales, que según él son algorítmica, computacional, de archivo y sujetas a inteligencia artificial. Específicamente dice:

Lo que caracteriza a las nuevas prácticas musicales del siglo XXI es un cierto desplazamiento del formato lineal a un foco de la obra musical como sistema, una especie de invención, montaje o instalación, cuya materialidad, espacialidad, y situacionalidad la separa de la noción abstracta de la música del siglo XX, expresada como notas generalizables en una partitura, u objetivamente capturar sonidos diseñados para una reproducción ubicua. (Magnusson 2019, 234).

Claramente las ideas vistas en este capítulo, y específicamente la obra generativa, representan un enfoque hacia el pensamiento de las obras musicales como sistemas.

## DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

Una obra de este tipo, es decir, una obra generativa, que utiliza la computadora como herramienta principal, y se distribuye como software, tiene varias etapas de desarrollo. En particular presentan tres etapas generales.

En un primer momento, se encuentra el desarrollo del funcionamiento de la obra, de las construcciones abstractas. Presenta una reflexión sobre los elementos musicales a utilizar y sobre las maneras en que estos pueden relacionarse, es decir, combinarse. Estas reflexiones se plasman o se encarnan en conjuntos de instrucciones, en esquemas, es decir, algoritmos, descritos de forma más general. Particularmente conlleva la elección de sonidos o materiales musicales, formas de combinación entre los materiales, distribuciones temporales de tales materiales, las decisiones que se ceden en relación a los demás eventos, la elección o construcción de los agentes de decisiones, y pensar sobre qué podría reproducir la obra y cómo la podría reproducir.

En la segunda etapa, las instrucciones planteadas se adaptan o traducen a lenguajes escritos preestablecidos, como por ejemplo el lenguaje simbólico musical o lenguajes de programación. En este caso se utilizan los segundos. Los lenguajes de programación representan una forma particular de pensar y razonar, dada su estructura semántica y sintáctica, y por los consensos en sus modelos de uso. La elección de un lenguaje implica adecuarse a su manera de describir los datos, ideas y relaciones, a su formulación de expresiones, y a las tecnologías con las que se relaciona. Esta etapa refiere a la concreción de la abstracción formulada en la primera, por lo tanto comprende la elección de las herramientas que se utilizaran para esa concreción y la transcripción de tal abstracción. En

términos prácticos, abarca, como ya se dijo, elección del lenguaje de programación, de las herramientas de desarrollo de tal lenguaje, la posible utilización de código de terceros, las plataformas en que se desarrollan o en que se pueden distribuir, los protocolos que se utilizan, entre otros. En síntesis, la elección de herramientas digitales.

En la tercera etapa, ligada a la anterior, se desarrolla la interfaz visual o gráfica. Representa dos cosas, el vínculo interactivo, o comunicativo, entre el usuario y la obra (es decir, el software), y la propia imagen de la obra. En otras palabras, se presenta el mayor sustento visual con el que, en general, el usuario accede o conoce la obra. Esta etapa también involucra una elección de herramientas digitales, tal vez relacionadas con las seleccionadas en la etapa anterior o no. Además involucra reflexionar y aplicar formas aceptables y entendibles de los elementos interactivos que le son expuestos a los usuarios, es decir, utilizar las posibles convenciones visuales del ambiente y los elementos que se utilizan.

Por lo general, una de las características que conllevan las tecnologías digitales es la rapidez de sus cambios y su continuo desarrollo. Esto representa un problema para toda obra que está de alguna manera ligada a la misma. Implica que sin un mantenimiento adecuado, ni una revisión periódica de las herramientas utilizadas, como también, de las plataformas de ejecución, estas tecnologías pueden quedar obsoletas (y en algunos casos el mantenimiento no asegura la perduración de las mismas).

Por lo tanto, este trabajo se centra especialmente en la primera etapa de desarrollo, donde las ideas pueden ser aplicadas a distintas herramientas digitales. La segunda etapa se presenta en el Anexo A como demostración práctica, la implementación con tecnologías web, de las descripciones que se realizan de la primera etapa. Aunque, de todas formas se advierte que, de aquí a algún tiempo, tal mención se podría volver obsoleta (o podrían existir nuevas formas de implementación). La interfaz visual permite la implementación de las estrategias de comunicación que se nombraron en las conclusiones del capítulo 1 ([sección 1.4](#)), especialmente, la presentación de las probabilidades en general. Además, la implementación de un usuario activo, para este tipo de obra, depende justamente de la



interfaz visual. Esta necesita que el usuario sea curioso y se relacione con las formas de interacción que se proponen. Lamentablemente, las interfaces gráficas son una de las tecnologías que cambian con mayor velocidad, no solo por el cambio tecnológico sino que también por el cambio de tendencias visuales. Por consiguiente, en esta sección solo se mencionan algunas notas que resultan relevantes al respecto (en el Anexo B se presenta el uso de la obra en relación a la interfaz visual existente en el momento de escritura de este trabajo). Por último, se agrega un análisis de algunos posibles resultados que un usuario puede esperar de la obra.

### 3 Características

En este pequeño capítulo se presenta un conjunto de elementos a tener en cuenta para la descripción de la obra. Se aclaran las utilización de ciertas terminologías, como también, se determinan ciertos axiomas y elementos que se implementan en la obra.

#### 3.1 ¿A qué llamamos material?

Generalmente el concepto de material en música se utiliza de dos maneras. Por un lado, representa elementos concretos, y por el otro, elementos más abstractos. Con elementos concretos se hace referencia al sonido mismo, es decir, se entiende al material como el propio sonido. El material pensado de manera abstracta se entiende a: los conjuntos de sonidos (entendiéndose como grupo y no como sonido resultante de una síntesis aditiva); las representaciones de sonidos, como por ejemplo, cuando nos referimos a material como una nota musical; y conjuntos de representaciones de sonido, como por ejemplo los llamados motivos, melodías, acompañamientos, unidades formales, secciones, entre otros. Para las abstracciones es necesario que exista alguna representación mediante símbolos u objetos donde se entienda que en última instancia tales construyen un vínculo con algún sonido concreto o con algunas características del sonido. Por ejemplo, la representación más común son las llamadas notas musicales, donde el símbolo no representa el sonido mismo, sino las características de altura y duración de un sonido específicamente temperado y mayormente armónico.

En el caso de este trabajo se utiliza el término *material* de manera abstracta. Pero la representación utilizada no es ninguna de las mencionadas arriba, sino que solo puede ser entendida gracias a la incorporación de las tecnologías digitales. Como ya se ha mencionado anteriormente la síntesis digital del sonido trajo una forma de representación en base a conjunto de muestras numéricas (llamadas comúnmente arrays o vectores). Estas muestras se codifican en base algún formato preestablecido como mp3, wav, flac, open, entre otros, que es almacenado en un archivo digital, llamado comúnmente como *archivo de*

*audio*. Entonces, de manera abstracta se puede pensar en el archivo de audio como elemento representativo de un sonido<sup>22</sup> (cualquier sonido). Al contrario de una nota musical, el archivo de audio es una representación directa de un sonido. El problema resulta que, en términos generales, puede representar cualquier sonido, mientras que una nota representa unas cualidades específicas de un sonido.

En síntesis, el término *material* para este trabajo se lo utiliza para nombrar *archivos de audio*. Una idea abstracta que pueden representar realmente cualquier sonido. Lo que se mencionó como *material concreto* será nombrado como *resultado sonoro*, o simplemente *sonido o audio*.

### **3.2 Relaciones temporales**

Las relaciones temporales representan la diferencia entre las apariciones de los eventos sonoros a través del tiempo. Generalmente se suele diferenciar las relaciones que tienen alguna longitud de tiempo repetitiva y las que no.

La obra no utiliza valores de tiempo continuos, sino valores discretos que se diferencian en cientos de milisegundos. En términos prácticos esto quiere decir que no puede existir una relación de 1230 milisegundos entre dos eventos, ya que entre 1200 y 1300 milisegundos no existe ningún valor. Si bien, puede entenderse que la construcción discreta de valores pretende formar relaciones de longitud de tiempo repetitivas, esta depende, más bien, de las posibilidades de repetir los valores dadas las apariciones de los eventos.

En la obra las relaciones temporales están limitadas a un intervalo que determina la máxima y la mínima longitud de tiempo posible. La elección del valor de la longitud de tiempo entre eventos es aleatoria dentro de tal intervalo. Esto quiere decir que todos los valores del intervalo tienen la misma probabilidad de aparecer, por ende, no existe la probabilidad de que ciertos valores aparezcan más que otros. Aunque, claramente el único caso en que puede existir una relación donde la longitud de tiempo sea repetitiva se da

---

<sup>22</sup> Con sonido no nos estamos refiriendo únicamente a ondas simples o elementos simples, sino que más bien a cualquier onda sonora, desde una senoide, un ruido blanco, hasta la onda de una canción completa.

cuando el máximo y el mínimo del intervalo son iguales. En síntesis, la obra posibilita mayormente relaciones temporales no repetitivas y en menor medida relaciones repetitivas.

### **3.3 Duración de la obra**

La duración de la obra es en sí misma indefinida. El sistema compositivo está diseñado de tal forma que está constantemente produciendo una salida. Lo único que determina la duración de la obra es el propio usuario, controlando justamente el comienzo y el fin de la misma.

### **3.4 Efectos utilizados**

El término *efecto* tiene múltiples definiciones. En general se entiende como la consecuencia de algún evento o como un bien personal, pero, en la convención musical el término se utiliza de manera distinta. Generalmente ligado a las prácticas de la música electrónica y digital, *efecto* refiere a un conjunto de componentes (a veces llamados módulos) o implementaciones que transforman un sonido, específicamente la onda sonora. En este caso la utilización del término *transformación* refiere a cambios en la onda sonora original, o en términos para esta obra, a los cambios que pueden existir entre el archivo de audio introducido y la reproducción de los mismos.

Si bien, parecería que el término *efecto* no es el mejor a utilizar, para este trabajo se decidió su implementación por simple convención. Se entiende a cualquier transformación de un sonido, que se representa en un archivo de audio, como un *efecto*. Cabe aclarar que no se realiza una clasificación de efectos o una diferenciación entre procesadores y efectos.

Existen una serie de efectos comunes que serán utilizadas en este trabajo, y suelen denotarse en español o en inglés indistintamente —va a ser muy común encontrarlos en inglés ya que facilita identificarlos en relación a la interfaz preexistente en la Web Audio API de los navegadores web. A continuación se mencionan de manera muy general los efectos utilizados.

El efecto de filtro (denotado en inglés como *filter*) representa una serie de efectos que alteran la onda filtrando (de aquí su nombre) o atenuando la ganancia de un conjunto de frecuencias. Estos efectos se categorizan según cuales frecuencias se dejan pasar o cuales se comienzan a filtrar. En este trabajo se utilizan sólo cuatro de los mismos. El primero es el filtro de pasos de bajos (nombrado como *lowpass*) que, como indica su nombre, dada una frecuencia comienza a filtrar todas las frecuencias mayores y deja pasar todas las menores. El segundo, el filtro de pasos de altos (nombrado como *highpass*) donde dada una frecuencia comienza a filtrar todas las frecuencias menores y deja pasar a todas las mayores. Generalmente, en ambos filtros anteriores se le suele agregar un segundo parámetro que controla que tanto sube o baja la ganancia en el área del corte (generalmente se lo llama pico de corte).

El tercer filtro es el paso de banda (en inglés *bandpass*), que dada una frecuencia deja pasar las frecuencias alrededor de su área y comienza a atenuar tanto las frecuencias mayores y menores a tal área. En este caso es relevante un segundo valor, el ancho de frecuencias (generalmente denominado *ancho de banda*, o *bandwidth* en inglés) que refiere a tal área donde se dejan pasar las frecuencias. Por lo general, el ancho de banda se mide en octavas relacionadas, denominadas  $n$ , a la frecuencia dada. Este es la relación entre una frecuencia mayor definida como  $f_a = f_c \times 2^n$ , y una frecuencia menor definida como  $f_g = f_c / 2^n$  donde  $f_c$  es la frecuencia dada. Generalmente el ancho de banda se define mediante lo que se llama *el factor de calidad*, denominado comúnmente con la letra  $Q$ . Existe una relación entre  $Q$  y la cantidad de octavas  $n$ , dada por la siguiente fórmula (Rane, 2008):

$$n = \log_2(y) \text{ donde } y = 1 + \frac{1}{2Q^2} (1 + (4Q^2 + 1)^{\frac{1}{2}}) \text{ o } n = \frac{2}{\ln(2)} \sinh^{-1} \left( \frac{1}{2Q} \right)$$

Cuando el valor de  $Q$  es igual a 1.41 entonces el ancho de banda será de una octava para cada lado. Si  $Q$  es mayor a 1.41 el ancho de banda será menor a una octava para cada lado. Y cuando  $Q$  es menor a 1.41 el ancho de banda será mayor a una octava para cada lado.

El último filtro es el supresor de banda o elimina banda (conocido como *notch*), que justamente es lo contrario al filtro paso de banda. Dada una frecuencia atenúa las

frecuencias que se encuentran dentro del área alrededor de la misma, y deja pasar a las frecuencias mayores y menores a tal área.

Otro efecto es el cambio de la velocidad de muestreo (denominada en inglés como *playback rate* o *playback speed*, también es conocido con el término *pitch control*). Afecta a la velocidad en que es reproducida la onda. Cuando se disminuye la velocidad de muestreo en relación a su velocidad original la duración del audio aumenta, y cuando se aumenta la velocidad de muestreo la duración del audio disminuye. En consecuencia, el espectro de frecuencias de la onda se desplaza a valores menores en el primer caso, lo que genera que se escuche más grave, y en el segundo caso, se desplaza a valores mayores, lo que genera que se escuche más agudo. Existen una serie de técnicas que se pueden aplicar para preservar los tonos originales, pero que no son utilizadas en este trabajo. El valor de la velocidad implementada suele aparecer en porcentajes. Aunque, también es común encontrarlo como una razón, donde valores mayores a 1 aumentan la velocidad, y números menores a 1 disminuyen la velocidad. De esta manera, el valor de 2 haría referencia al doble de la velocidad original y  $1/2$  a la mitad.

El efecto de recorte simplemente separa o escoge una sección temporal de la onda para que sea reproducida. En la obra de este trabajo se emplean dos efectos de recorte por separado. El primero es un recorte manual que puede realizar el usuario. El segundo es un recorte implementado de forma aleatoria por el sistema, que toma como base el recorte anterior. Ambas implementaciones tienen una regla general, y es que el recorte no puede ser menor a 500 milisegundos. El segundo tiene una regla extra: no se implementa si la duración del material es menor a un segundo.

El efecto de eco (denotado en inglés como *delay*) consiste en superponer a la señal original de audio una serie de copias que se reproducen cada cierto tiempo. Esto se consigue mediante una retroalimentación donde el efecto de eco continuamente almacena copias de la señal original y las reproduce. La retroalimentación suele tener un parámetro de ganancia (comúnmente llamado *feedback gain* o simplemente *feedback*) el cual genera que cada nueva copia creada disminuya su volumen y paulatinamente desaparezca. Esto se

produce ya que la retroalimentación genera una productoria<sup>23</sup> (hasta el infinito) del valor de su ganancia, donde cada producto es el volumen de cada nueva copia. Como el valor de la ganancia, en general, se encuentra entre 0 y 1, entonces la multiplicación constante de un número menor a 1 llegará a un punto muy cercano a cero (por lo menos lo suficiente para que no se escuche el sonido). El único caso contrario aparece cuando la ganancia de retroalimentación es 1, que generará un ciclo infinito donde el volumen de cada copia es siempre igual (en consecuencia si las copias se superponen pueden llegar a producir un aumento exponencial de volumen). En la obra de este trabajo se tiene cuidado de no utilizar este valor por lo que el límite superior de valores de la ganancia de retroalimentación se definió en 0.9. Además, el efecto tiene un parámetro en el que se define el tiempo de espera. Si se quiere saber cuánto hay que esperar para que el eco desaparezca, hay que sacar la cantidad de multiplicaciones que hacen falta para que el valor resultante de la productoria se acerque a 0, y multiplicar el tiempo de espera por el resultado anterior. Para sacar la cantidad de multiplicaciones se puede utilizar la siguiente fórmula:  $\log_x(0.01)$  o  $-\log_x(100)$  donde  $x$  es la ganancia de retroalimentación —se utiliza 0.01 ya que es suficiente en relación a su proximidad con 0, pero se pueden utilizar números aún más pequeños.

El efecto de espacialización de audio, por simplificación, se lo denomina como *paneo* (en inglés *panner*). En las formas más simples se presenta como un *paneo estéreo* o *multicanal*, en el cual se puede direccionar a alguno de los canales disponibles de emisión (hasta se puede dar una cualidad porcentual si se quiere distribuir un sonido por varios canales al mismo tiempo). Por lo general la cantidad de canales disponibles suele ser dos, por lo que este efecto se suele simplificar en posiciones o movimientos de izquierda a derecha. En términos reales, esta forma simple no debería ser definida como efecto, ya que no transforma el sonido sino que lo distribuye —aunque, esta distribución involucra en gran parte presentar copias de la onda en distintas ganancias. En formas más complejas de espacialización se pretende simular un espacio físico, por lo tanto involucra la posición de la fuente y del oyente, y la dirección, la distancia y la proyección del sonido. Estas formas más

---

<sup>23</sup> Una productoria es una serie arbitraria de multiplicaciones, que puede ser finita o infinita.

complejas no solo distribuyen sino que, para poder generar tal espacialización, se agregan cambios de ganancia, filtros y reverberación al sonido. La obra utiliza un efecto de espacialización medianamente complejo, que distribuye el sonido en relación a un plano de 3 dimensiones por los canales disponibles, e involucra cambios de ganancia y pequeños filtrados.



## 4 Descripción

Este capítulo tiene una gran importancia. Por lo general, la música que utiliza únicamente la computadora no tiene ningún formato de representación de música convencional —y cuando lo tienen dejan mucho que desear. Por lo tanto, resulta relevante para la legitimación de las intenciones del compositor que se describan tanto los elementos constituyentes como las relaciones y procesos de los mismos. En el caso de la música generativa por computadora esto es aún más pronunciado. Si bien, en este caso no se pone en juego la legitimidad del compositor (si es que existe compositor), el problema radica en explicar el cómo se crea la música. En palabras de Michael Young: “La música generativa, en su forma pura, se preocupa más por cómo se hace y no por cómo se ejecuta la música; este es un proceso computacional, algorítmico” (2016, p. 82). Específicamente, la música generativa representa en algún punto una construcción no determinista, en términos de resultados explícitos, por lo tanto es necesario describir cómo tal cosa es llevada a cabo. En términos reales, existe una forma de representación para el mismo que es el código del sistema. Por ejemplo, Magnusson cree que el analista que se sumerja en toda obra que involucre sistemas digitales, debe tener su código a mano, y convertirse en analista de software (Magnusson, 2019). Justamente, las descripciones necesarias para la música generativa deben ser las ideas que existen dentro de los códigos, que pueden estar escritos en lenguajes muy variados. Por ende, en este capítulo se describen las reglas compositivas de la obra. Se menciona cómo se organizan los materiales en el tiempo, en base a qué decisiones, cómo es la transformación de los materiales y otros elementos de la obra. Se tendrá un enfoque a gran escala y luego se irá señalando cada punto.

### 4.1 Algoritmo principal

El proceder de la obra consiste de una repetición constante de un conjunto de reglas. Esto posibilita una implementación de generatividad en tiempo real, como así también, un diseño de obra infinita. A este conjunto de reglas se lo denoto como *algoritmo principal*,

porque describe el comportamiento general de la obra. A continuación se detalla el mismo (la figura 4.1 muestra un diagrama de esta descripción):

- 1 Si existen materiales.
  - 1.1 Determinar la cantidad de materiales a reproducir.
  - 1.2 Determinar los materiales a reproducir.
  - 1.3 Si alguno de los materiales se está reproduciendo, ejecutar un fadeout y luego frenar el material. Para los materiales que no se están reproduciendo esperar el tiempo de fadeout antes de seguir.
  - 1.4 Para cada material determinar aleatoriamente un intervalo de reproducción del material, es decir un fragmento dentro de los límites de duración. Si RSP está desactivado se toma como principio del intervalo el propio comienzo del material, y si REP está desactivado se toma como final el propio final del material. Para materiales con una duración menor a 1 segundo este proceso toma la duración completa como intervalo.
  - 1.5 Para cada material determinar aleatoriamente la velocidad de muestra.
  - 1.6 Para cada material definir una ganancia cercana a 0.
  - 1.7 Para cada material, si el panner está activado determinar aleatoriamente las configuraciones y conectarla a la ganancia, sino seguir al siguiente paso.
  - 1.8 Para cada material, si el filter está activado y se decide aleatoriamente aplicarlo, determinar aleatoriamente las configuraciones y conectarla a la ganancia, sino seguir al siguiente paso.
  - 1.9 Para cada material, si el delay está activado y se decide aleatoriamente aplicarlo, determinar aleatoriamente las configuraciones y conectarla a la ganancia, sino seguir al siguiente paso.
  - 1.10 Reproducir y ejecutar fadein en todos los elementos.
- 2 Determinar el tiempo a esperar para la próxima reproducción.
- 3 Si no se decidió que se termine el proceso, es decir si no se apretó el botón "Stop", volver al paso 1, de lo contrario terminar el proceso.

El algoritmo explícitamente decide sobre la combinación de los materiales que se ejecutan al mismo tiempo (pasos 1.1 y 1.2), pero no lo hace con las combinaciones temporales de los mismos. Las relaciones temporales, es decir, la secuenciación de los sonidos, más bien está dada por las diferencias temporales entre las reiteraciones del procedimiento, que se establecen en el paso 2 del algoritmo. De esta manera, se puede entender que en realidad se está decidiendo el tiempo a esperar entre las ejecuciones de los

materiales<sup>24</sup>. Por lo tanto, la organización temporal de la obra implica constantemente el tiempo de espera del procedimiento y los posibles materiales que pueden llegar a ejecutarse juntos.

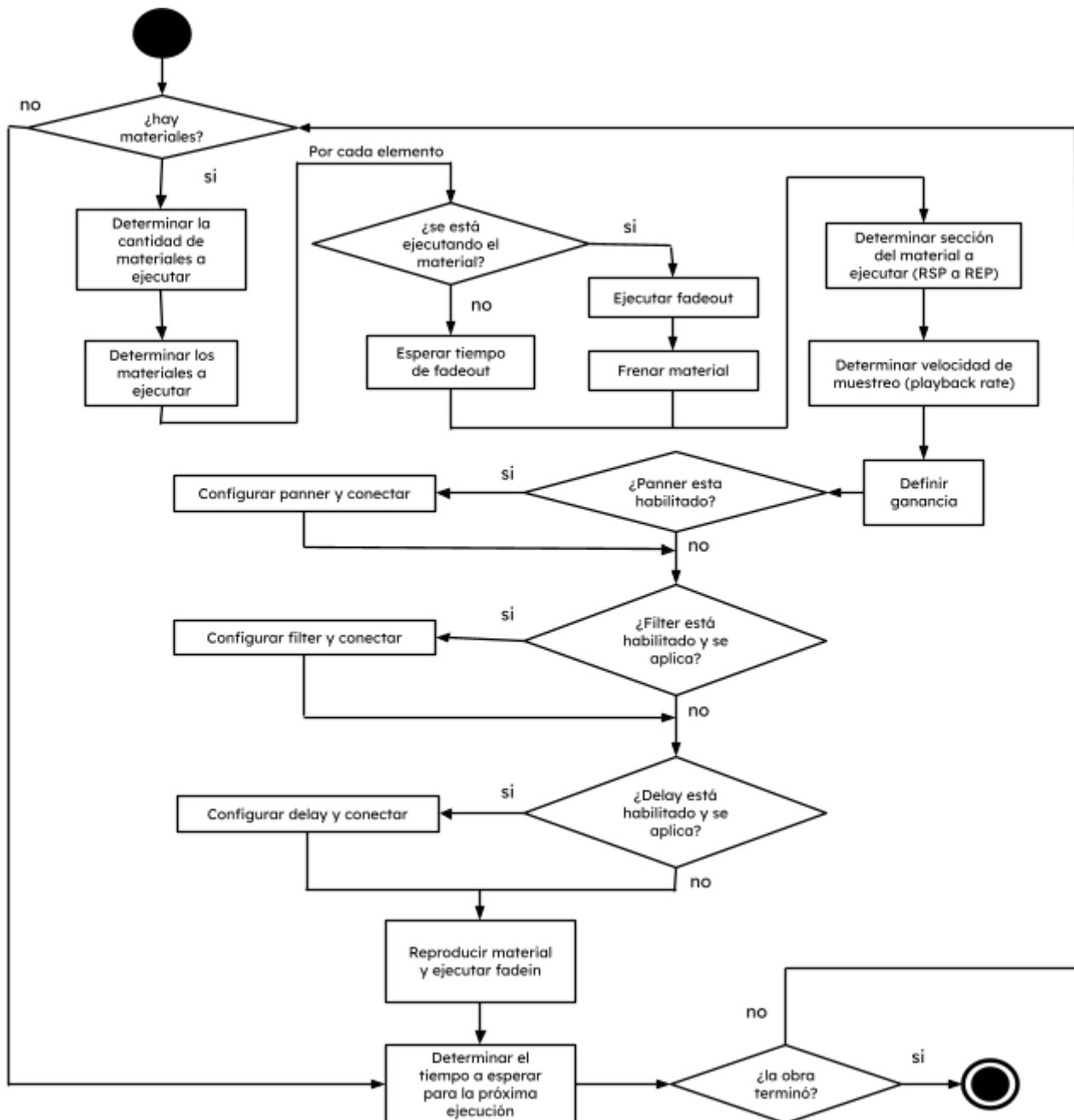


Figura 4.1 Diagrama del algoritmo principal.

<sup>24</sup> Es relevante aclarar que la implementación del algoritmo en la computadora puede generar que la duración del tiempo de espera no sea exacto, más bien, es mayor en algunos milisegundos. Esto se debe a múltiples factores.

Una característica interesante está relacionada con la existencia de los materiales. Como se puede observar la inexistencia de los mismos no termina el proceso, más bien, continua con el flujo normal del procedimiento. Esta característica está aplicada especialmente por si el usuario decide cambiar los materiales que utiliza. Por lo tanto, eliminar materiales e incorporar nuevos no representa la necesidad de finalizar la obra y volver a comenzar, estas acciones se pueden realizar sin consecuencias para el procedimiento. Como ya se nombró, la obra termina únicamente si el usuario lo decide —o que salga algún error no previsto. Esto puede observarse en el último paso del algoritmo, donde se necesita de un dato externo para saber si termina o continúa.

El algoritmo principal está diseñado para trabajar únicamente con los materiales dados por el usuario. En otras palabras, es imposible para el sistema introducir materiales propios, por lo tanto, todas los resultados del sistema repetirán una y otra vez los materiales existentes. Claramente la introducción de transformaciones del material está dada para combatir la monotonía que podría causar este tipo de resultado. La única manera de que aparezcan cambios, en términos de materiales, es si el usuario lo decide.

## ***4.2 Tiempo a esperar entre reiteraciones***

En esta sección se describe lo necesario para determinar el tiempo de espera entre las reiteraciones, esto es el paso 2 del algoritmo principal.

Los valores de tiempo a esperar se definen dentro de un intervalo los cuales tiene una probabilidad de distribución uniforme para su elección. Tal intervalo representa valores de tiempo en milisegundos. El intervalo puede ser alterado por el usuario, quien puede elegir un valor mínimo y máximo, los cuales se denotan como  $t_{min}$  y  $t_{max}$ . Ambos valores tienen un límite decidido para que las relaciones temporales no sean ni demasiado cortas, ni muy largas. Para el caso de  $t_{min}$  el límite es 500 milisegundos (medio segundo) y para  $t_{max}$  es 1800000 milisegundos (30 minutos). Como ya se dijo en *3.2 Relaciones temporales*, las medidas de tiempo se diferencian en cientos de milisegundos por lo que resulta más conveniente trabajar con medidas de entre 5 a 18000 (cientos de milisegundos). Además, de

esta forma se puede calcular muy simplemente la cantidad de valores posibles que pueden ser seleccionados. En caso de utilizar los límites se calculan 17995 valores totales, que son la máxima cantidad de valores posibles. Por defecto  $t_{min}$  tiene un valor de 8 y  $t_{max}$  de 50 (es decir, 800 y 5000 milisegundos), por lo que en este caso los valores posibles de ser seleccionados son 42.

Resultaría difícil para el usuario trabajar con milisegundos o con cientos de milisegundos. Claramente es más sencillo trabajar con minutos que con sesenta miles de milisegundos y con segundos que con miles de milisegundos. Por lo tanto, la interfaz visual alternativamente debería mostrar los valores temporales de minutos, segundos, y solo cuando sea necesario de cientos de milisegundos. Para esto se propone utilizar el siguiente formato  $mm:ss.cms$  tal que  $mm$  es minutos, seguido del símbolo  $:$  (dos puntos),  $ss$  es segundo, seguido del símbolo  $.$  (punto) y por último  $cms$  que son cientos de milisegundos. Internamente todos los valores temporales se siguen trabajando en milisegundos o cientos de milisegundos.

Para definir una variable con una probabilidad de distribución uniforme se utiliza la propia función pseudo-aleatoria que se encuentra incorporada en las computadoras o las plataformas de desarrollo (generalmente con una semilla ya seleccionada). Esta función por lo general utiliza números de punto flotante (en inglés *floating-point numbers*) ya que por conveniencia matemática resulta más simple que el resultado se encuentre entre 0 y 1, sin incluir el 1. A tal función se la denomina como  $rand0to1()$ . Como en este caso lo que se busca es un valor aleatorio dentro de un intervalo específico, se puede definir la siguiente función que mapea el resultado de  $rand0to1$  al intervalo que queremos utilizar:

$$randAtoB(a, b) = rand0to1() \times (b - a + 1) + a$$

En este caso  $a$  refiere al mínimo del intervalo y  $b$  al máximo. Como  $rand0to1$  devuelve un número flotante, el resultado de esta función también lo hará, por lo tanto como se quiere utilizar valores discretos es necesario truncar el resultado. De esta manera la función queda de la siguiente manera:

$$randAtoB(a, b) = trunc(rand0to1() \times (b - a + 1) + a)$$

Dado todo lo anterior, si denominamos a  $T$  como tiempo a esperar, tenemos entonces que para seleccionar un valor simplemente realizamos:

$$T = \text{randAtoB}(t_{\min}, t_{\max})$$

Por último, cabe aclarar que  $T$  es utilizado como valor de un temporizador interno de la computadora o la plataforma. Una vez se acaba el temporizador se vuelve a ejecutar el algoritmo principal.

### **4.3 Selección de materiales a ejecutar**

En esta sección se desarrollan los algoritmos necesarios para decidir sobre los materiales a ejecutar. Esto es, primero la decisión sobre la cantidad de materiales a ejecutar y luego los propios materiales que se ejecutan. En el algoritmo principal se refiere a los pasos 1.1 y 1.2.

Antes que nada, se determina todas las cantidades de materiales posibles a ejecutar. En otras palabras, asumiendo todos los posibles conjuntos de materiales que se pueden formar, determinar los cardinales posibles de los mismos. Esto se define según la cantidad total de materiales existentes, que llamaremos  $n$ , a la hora de realizar este proceso. Por ende, la totalidad de cardinales posibles es  $n + 1$ , ya que se tiene en cuenta el conjunto vacío, y los cardinales correspondientes serían de 0 a  $n$ . Aún así, para no tener que obrar con demasiados materiales que se ejecutan al mismo tiempo se decidió limitar el máximo de materiales a ejecutar a 15. Esto quiere decir que si  $n$  es mayor a 15 entonces los cardinales posibles serán de 0 a 15 y no de 0 a  $n$ .

Cada cardinal tiene un valor de probabilidad,  $p$ , que se almacena en un vector, denominado *Vector de Probabilidad de Cardinalidades* o *VPC*. El tamaño del *VPC* es igual al total de cardinales posibles, es decir,  $n + 1$  o 16 en caso de  $n$  sea mayor a 15. Cada índice de *VPC* representa el cardinal ligado a la probabilidad (contando los índices a partir de 0 por convención). Es decir, que  $VPC_0$  refiere a la probabilidad de los conjuntos con cardinalidad 0,  $VPC_1$  a la probabilidad de los conjuntos con cardinalidad 1, y así. Por defecto los valores de

$VPC$  están distribuidos uniformemente. Pero,  $VPC$  puede ser alterado por el usuario, lo que generaría que la distribución de las probabilidades sean arbitrarias.

Para facilitar el cambio de probabilidades por parte del usuario, el vector que se utiliza no contiene las probabilidades sino que contiene números que pertenecen a los enteros positivos y el cero. Esto permite que el usuario siempre trabaje con números redondos y no fracciones. Lo que observa el usuario es que cuanto mayor sea el valor en comparación a los demás, mayor es su probabilidad. Para reforzar este efecto, se debería implementar en la interfaz gráfica un valor porcentual en relación a la probabilidad que representa. Para sacar realmente la probabilidad  $p_i$  en relación al valor de  $VPC_i$  se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_i = \frac{V_i}{\sum_{j=0}^{m-1} V_j} \quad 25$$

Donde  $V$  representa cualquier vector,  $i$  es algún índice de  $V$  y  $m$  es el tamaño de  $V$ . Por lo tanto, se puede reemplazar  $V$  por  $VPC$  y  $m - 1$  por  $n$ . Esto quiere decir que los valores de  $VPC$  son en realidad los numeradores de sus probabilidades, y el denominador se calcula justamente sumando todos los valores de  $VPC$ . A este tipo de vector lo podemos denominar como *vector de numeradores* (esto resulta relevante para más adelante). Por ejemplo, tenemos el siguiente vector de numeradores  $W(4, 1, 5)$ , que tiene  $m = 3$ . Entonces, primero se puede calcular la suma de todos los valores, es decir,  $\sum_{j=0}^2 w_j$  o simplemente  $4 + 1 + 5$  que da 10. Luego, tenemos que  $W_0$  es 4, por lo tanto, la probabilidad en relación al índice 0 es:

$$P_0 = \frac{W_0}{\sum_{j=0}^2 W_j} = \frac{4}{10}$$

Cabe decir que la utilización del *vector de numeradores* no solo ayuda al usuario sino que también a la precisión del cómputo, ya que en vez de usar números flotantes se utilizan números enteros. Si bien,  $VPC$  es a la práctica un *vector de numeradores* (y así es tratado en

---

<sup>25</sup> El símbolo  $\Sigma$  es una sumatoria. Esta representa una secuencia de sumas dada por la sucesión de los valores de la variable que se define por debajo hasta llegar al valor definido por encima del símbolo.

el Anexo A), para la siguiente descripción se asume que  $VPC$  contiene directamente las probabilidades, es decir que  $VPC_i = p_i$ , ya que resulta más sencillo.

A sabiendas de que  $VPC$  puede llegar a tener una distribución arbitraria de las probabilidades se decidió utilizar la versión práctica del método de Alias de Michael D. Voce (Schwarz, 2011) como sistema de decisión para la elección del *cardinal*. El algoritmo que se utiliza se describe de la siguiente manera:

- 1 Se definen se definen los vectores *Alias* y *Prob*, de tamaño  $n+1$  y se define el vector  $P$  tal que  $P = VPC \times (n + 1)$ .
- 2 Se definen las siguientes listas ordenadas que dividen al vector  $P$  en probabilidades menores y mayores a 1 respectivamente:
 
$$smallList = lista\{ i \mid \theta \leq i \leq n \wedge P_i < 1 \}^{26}$$

$$largeList = lista\{ i \mid \theta \leq i \leq n \wedge P_i \geq 1 \}.$$
- 3 Mientras las listas *smallList* y *largeList* no estén vacía
  - 3.1  $j = smallList_\theta$  y eliminar  $smallList_\theta$ .
  - 3.2  $g = largeList_\theta$  y eliminar  $largeList_\theta$ .
  - 3.3  $Prob_j = P_j$
  - 3.4  $Alias_j = g$
  - 3.5  $P_g = (P_g + P_j) - 1$
  - 3.6 Si  $P_g < 1$  añadir  $g$  a *smallList*, sino añadir  $g$  a *largeList*.
- 4 Mientras que *largeList* no esté vacío.
  - 4.1  $h = largeList_\theta$  y eliminar  $largeList_\theta$ .
  - 4.2  $P_h = 1$ .
- 5 Mientras que *smallList* no esté vacío.
  - 5.1  $k = smallList_\theta$  y eliminar  $smallList_\theta$ .
  - 5.2  $P_k = 1$ .
- 6 Seleccionar la variable aleatoria discreta  $x$  entre  $\theta$  y  $n$ .
- 7 Seleccionar la variable aleatoria continua  $z$  entre  $\theta$  y  $1$ , sin incluir el  $1$ .
- 8 Si  $z < P_x$  entonces el *cardinal* es  $x$ , sino el *cardinal* es  $Alias_x$ .

<sup>26</sup> Nos tomamos la libertad de utilizar una de las notaciones de conjuntos para la definir listas. Si bien, en una lista es importante el orden de los elementos, en este caso particular no.

Como segunda aclaración, este símbolo  $\wedge$  es una conjunción lógica, un tipo de conector lógico. En la jerga común se representa con el conector **y**, que es una conjunción copulativa que une palabras u oraciones.



En síntesis, el algoritmo anterior distribuye la probabilidad en dos listas separadas para que la elección se realice en un solo paso<sup>27</sup>. Para el paso 6 del algoritmo, que refiere a seleccionar de manera aleatoria un valor dentro de un intervalo, se puede utilizar la función  $randAtoB(0, n)$ . Y para el paso 7, se puede utilizar la función  $rand0to1()$ . Por lo tanto, en los procedimientos siguientes que existan situaciones similares, directamente se utilizarán estas funciones.

Una vez que se tiene el *cardinal*, es decir, la cantidad de materiales a ejecutar, se determinan los materiales propiamente dichos. Existen dos casos especiales que simplifican todo el proceso. Si el *cardinal* es igual a 0, es decir que la cantidad de materiales a ejecutar es 0, el proceso va directo al paso 2 del algoritmo principal. En cambio, si el *cardinal* es igual a  $n$ , el total de materiales, simplemente se seleccionan todos los materiales.

Cuando no encontramos los dos casos anteriores, se efectúa un algoritmo como sistema de decisión. Todos los materiales tienen una probabilidad de ser seleccionados, y por defecto esta probabilidad es uniforme. De nuevo aquí, el usuario puede cambiar esta probabilidad y generar una distribución arbitraria. En este caso se utiliza un *vector de numeradores* que representa las probabilidades, y se lo denota como *Vector de Probabilidad de Materiales* o *VPM*. El tamaño de *VPM* es igual a  $n$ , por lo que cada índice de 0 a  $n - 1$  representa un material. Cabe aclarar que por imposición todo material debe ser partícipe de la selección, ningún material puede tener probabilidad 0, es decir, ningún numerador de *VPM* es 0. El algoritmo se define de la siguiente manera:

(Inicialización)

- 1 Se dan las variables  $i$  y  $w$ , y la lista de vectores `sumList` de tamaño  $n$ , donde cada vector contiene una suma de numeradores y un índice de algún material. (*ver más adelante*)
- 2 Se definen las variables  $h = n$  y  $totalSum = sumList_{n-1, \theta}$ .
- 3 Se define la lista `elements` donde se almacenarán los elementos decididos.

<sup>27</sup> Para un entendimiento del método de Alias en general resulta profundamente instructivo el artículo *Darts, Dice and Coins* de Keith Schwarz que se encuentra en la bibliografía.

(Selección)

4 Mientras  $i$  sea menor a  $w$

4.1  $h = h - 1$ .

4.2 Se define  $x = \text{randAtoB}(1, \text{totalSum})$ .

4.3 Encontrar el índice  $j$  de  $\text{sumList}$  tal que  $\text{sumList}_{j,\theta}$  sea el menor de los valores mayores o iguales a  $x$  (se utiliza el algoritmo de búsqueda binaria sobre  $\text{sumList}$ ).

4.4 Añadir  $\text{sumList}_{j,1}$  (el índice del material) a  $\text{elements}$

(Re inicialización)

4.5 Si  $i$  es menor a  $w-1$  entonces

4.5.1 Si  $j$  no es  $\theta$  entonces  $\text{totalSum} = \text{sumList}_{j,\theta}$  sino  $\text{totalSum} = \theta$ .

4.5.2 De  $k = j$  hasta  $h-1$

4.5.2.1  $\text{totalSum} = \text{totalSum} + (\text{sumList}_{k+1,\theta} - \text{sumList}_{k,\theta})$ .

4.5.2.2  $\text{sumList}_{k,\theta} = \text{totalSum}$ .

4.5.2.3  $\text{sumList}_{k,1} = \text{sumList}_{k+1,1}$ .

4.6  $i = i + 1$ .

Lo que ocurre en el algoritmo anterior es lo siguiente<sup>28</sup>. En base a cada primer valor de la lista  $\text{sumList}$  se entiende que esta es una lista ordenada de manera ascendente, es decir que  $1 \leq \text{sumList}_{0,0} < \text{sumList}_{1,0} < \dots < \text{sumList}_{n-1,0}$ . Entre cada uno de estos elementos se define un “espacio” de probabilidad, es decir, la probabilidad de que se seleccione un valor entre dos elementos sucesivos. Para el primer vector de  $\text{sumList}$ , el “espacio” se define entre 1 y el mismo. El “espacio” total que ocupan estas probabilidades es justamente el último valor de  $\text{sumList}$ , es decir  $\text{totalList}$ . Por lo tanto, se define un valor aleatorio (paso 4.2) y luego se busca a cual “espacio” de probabilidad refiere (paso 4.3). Es por esto que se debe buscar el menor de los valores mayores o iguales al valor aleatorio. Una vez que se selecciona un elemento de  $\text{sumList}$  ya no debe volverse a seleccionar, por lo tanto, hay que recalculer los “espacios” de probabilidad sin tal elemento. Esto es lo que ocurre entre los pasos 4.5 y 4.6. No es necesario redefinir todo  $\text{sumList}$ , solo hace falta redefinir los elementos subsiguientes

<sup>28</sup> El algoritmo que se utiliza es una variación del método de *selección proporcionada de forma física* o *selección por ruleta*, mejor conocido en inglés como *fitness proportionate selection* o *roulette wheel selection*. En el artículo de Keith Schwarz aparece con el segundo nombre. También se puede encontrar una entrada del método en la enciclopedia wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fitness\\_proportionate\\_selection](https://en.wikipedia.org/wiki/Fitness_proportionate_selection).

al seleccionado. Este proceso se repite hasta alcanzar a seleccionar todos los elementos necesarios.

El algoritmo toma como dadas algunas variables, esto se debe a que tales variables se inicializan de manera distinta según el *cardinal*. Cuando el *cardinal* es menor o igual a la mitad del tamaño de  $n$  entonces se definen las variables  $i = 0$ , y  $w = \text{cardinal}$  y la lista

$sumList = lista\{\sum_{j=0}^m VPM_j, m \mid 0 \leq m < n\}$ . Aquí se puede observar como  $sumList$  es una lista

ordenada. Cada primer elemento de cada vector es la sumatoria de todos los valores de  $VPM$  hasta el índice  $n$ , por lo tanto, los “espacios” de probabilidad en este caso son exactamente las probabilidades de los materiales a ser seleccionados. En cambio, cuando el *cardinal* es mayor a la mitad del tamaño de  $n$  entonces se definen las variables  $i = \text{cardinal}$ ,  $w = n$  y la

lista  $sumList = lista\{\sum_{h=0}^{n-1} VPM_h - \sum_{j=0}^m VPM_j, m \mid 0 \leq m < n\}$ . Aquí los “espacios” de probabilidad no

representan las probabilidades de los materiales a ser seleccionados, sino las probabilidades de no ser seleccionados. Entonces, la lista *elements* en vez de almacenar los materiales que se van a ejecutar, almacena los que son excluidos para la ejecución. Es importante observar que gracias a que  $VPM$  no contiene ningún valor 0 ambas definiciones de  $sumList$  son correctas, ya que, de lo contrario sería necesario excluir las sumas e índices donde  $VPM$  sea 0. La división del algoritmo está dada para disminuir la cantidad de procesos que se podrían realizar, es decir, se logra que como mucho la cantidad de reiteraciones del procedimiento sea la mitad más 1 del *cardinal* (o el límite 15, si  $n$  es mayor a 15).

Para la interfaz gráfica resulta relevante que se visualicen las probabilidades tanto de los cardinales, como también de los materiales.

#### 4.4 Aplicación de efectos

En esta sección se describen los conjuntos de transformaciones y decisiones que se implementan sobre un material una vez que es seleccionado para ser ejecutado.

Lo primero que se determina de un material es la sección o intervalo temporal del mismo que se va a ejecutar. Esto se refiere al efecto de recorte sobre el material. Como ya se

nombró, existen dos implementaciones del efecto, uno por el usuario y otro por el sistema. El del usuario se realiza de forma manual y en cualquier momento. El del sistema es el que se efectúa sobre el material que se va a ejecutar y refiere al paso 1.4 del algoritmo general. Este depende del recorte del usuario, por lo tanto, es necesario realizar ciertas aclaraciones previas.

Todo material tiene una duración que se denota como  $d$ . El recorte manual del usuario se define en dos puntos,  $sp$  el punto de inicio y  $ep$  el punto de fin tal que  $5 \leq ep \leq d$  y  $0 \leq sp \leq (ep - 5)$  (el 5 en este caso se refiere a 5 cientos de milisegundos, ver [sección 4.2](#)). Como se observa, tanto  $ep$  como  $sp$  están limitados por 500 milisegundos de diferencia, esto tiene que ver con la regla del efecto de corte (nombrada en la [sección 3.4](#)). Por defecto  $sp = 0$  y  $ep = d$ . El efecto de recorte que efectúa el sistema utiliza los puntos  $rsp$  (punto de inicio) y  $rep$  (punto de fin). Para inicializarlos primero se define aleatoriamente una sección de tiempo  $rd$  tal que  $5 \leq rd \leq (ep - sp)$ . Luego se define aleatoriamente  $rsp$  y  $rep$  tal que  $sp \leq rsp \leq (ep - rd)$  y  $(rsp + rd) \leq rep \leq ep$ . El usuario puede incidir en el efecto de recorte de sistema, habilitando o deshabilitar los puntos  $rsp$  o  $rep$  de manera independiente. Cuando  $rsp$  está deshabilitado entonces  $rsp = sp$ , por lo tanto, genera que el material comience siempre desde el mismo punto temporal ( $sp$ ) y que cambie el punto posible de fin. En cambio, si  $rep$  está deshabilitado entonces  $rep = ep$ , genera que el material comience desde distintas partes, pero su posible fin siempre sea  $ep$ . Claramente en el caso que ambos puntos estén deshabilitados el efecto no se efectúa. El algoritmo implementado para esto es el siguiente:

```

1 Definir las variables  $rd = 5$ ,  $rsp = sp$  y  $rep = ep$ .
2 Si  $rsp$  y  $rep$  están habilitados entonces  $rd = randAtoB(5, ep - sp)$ .
3 Si  $rsp$  está habilitado entonces  $rsp = randAtoB(sp, ep - rd)$ .
4 Si  $rep$  está habilitado entonces  $rep = randAtoB(rsp + rd, ep)$ .

```

Por la segunda regla del recorte del sistema (ver [sección 3.4](#)), el algoritmo de arriba solo se ejecuta si la duración del material es mayor o igual a un segundo, es decir si  $d \geq 10$ . Además, en el párrafo anterior se habla de posible fin y no directamente de fin por la implementación del paso 1.3 en el algoritmo general. Este paso genera que si un material se

está reproduciendo y es nuevamente seleccionado, se lo frena aunque no haya llegado al punto de fin (ya sea *ep* o *rep*). Por lo tanto, el tiempo real de reproducción de tal material es menor a  $rd$  o  $ep - sp$ . Este fenómeno aparece con bastante frecuencia.

Para los siguientes efectos solo se describirán la formulación necesaria de los parámetros. Esto se debe a que se asume que la plataforma con la que se trabaja tiene incorporada interfaces o módulos que implementan tales efectos. Como esta descripción es únicamente general no se puede especificar más sobre los mismos. En el caso particular de la plataforma con la que se implementa la obra, los navegadores web, tiene incorporada los efectos mediante objetos que pertenecen a la API de Audio Web. Además, cabe aclarar que la mayoría de los parámetros de estas interfaces utilizan valores que pueden ser continuos, pero se debe utilizar un conjunto discreto y finito de valores (tal como se expuso en la conclusión del capítulo 1, sección 1.4). Por lo tanto, en la mayoría de los casos se define un intervalo de valores discretos que se usarán para definir internamente la selección, y claramente luego se debe mapear el valor de selección al valor real que necesita el interfaz. Por último, el usuario puede habilitar o deshabilitar todos los efectos siguientes de manera integral. Esta interacción (como también las de *rsp* y *rep*) puede realizarse tanto de manera local como de manera global. Es decir, que se pueden realizar en relación a un material específico, y se puede realizar para todos los materiales al mismo tiempo.

El paso 1.5 del algoritmo principal, la velocidad de muestreo, depende de un intervalo que puede cambiar el usuario. Este intervalo se define entre  $PBR_{min}$  y  $PBR_{max}$  tal que  $0.5 \leq PBR_{min} \leq PBR_{max} \leq 2$ . En este caso se utilizan razones, pero en porcentajes sería 50% y 200% respectivamente (asumiendo que 100% es la velocidad original). El límite del intervalo está dado ya que valores muy pequeños (generalmente menores a 0.4) y valores muy grandes generan que se pierda calidad de audio. Por defecto  $PBR_{min} = 0.75$  y  $PBR_{max} = 1.5$ . La velocidad de muestreo se denota  $pbr$ , y se define de la siguiente manera  $pbr = randAtoB(PBR_{min}, PBR_{max})$ . Se define que el total de valores posibles entre 0.5 y 2 es 21, tal que para valores menores y mayores a 1 exista la misma cantidad, 10. Entre 0.5 y 1 la sucesión de los valores tienen una diferencia de 0.05, y entre 1 y 2 tienen una diferencia de

0.1. En consecuencia, la sucesión de los valores es la siguiente: 0.5, 0.55, 0.6, ..., 0.95, 1, 1.1, 1.2, ..., 1.9, 2. Para implementar esto se define  $0 \leq PBRmin' \leq PBRmax' \leq 20$ , tal que 0 mapea a 0.5 y 20 mapea a 2. La selección de la velocidad de muestreo y el mapeo correspondiente queda de la siguiente manera:

```
1 Se define  $pm = randAtoB(PBRmin', PBRmax')$ 
2 Si  $x < 10$  entonces  $pbr = (pm + 10) / 20$  sino  $pbr = pm / 10$ .
```

Para el efecto de paneo se definen tres parámetros,  $X$ ,  $Y$  y  $Z$ , que posicionan la fuente sonora en un espacio virtual, y representa el paso 1.7 del algoritmo principal. El parámetro  $X$  define la posición horizontal,  $Y$  la posición vertical y  $Z$  la distancia, y sus valores se presentan en términos porcentuales.  $X$  se define tal que  $-50 \leq X \leq 50$ , donde los valores negativos representan la posición hacia la izquierda y los positivos a la derecha con respecto al receptor.  $Y$  también se define tal que  $-50 \leq Y \leq 50$ , donde los valores negativos representan el movimiento hacia abajo y los positivos hacia arriba con respecto al receptor.  $Z$  se define tal que  $-50 \leq Z \leq 0$ , donde cuanto menor sea  $Z$  más alejada se encontrará la fuente en relación al receptor. Estos valores tienen en cuenta que la posición del receptor se encuentra en el punto (0,0,1), mirando hacia los valores negativos de  $Z$ . Todos los parámetros se definen en intervalos que puede cambiar el usuario. El intervalo de  $X$  se define tal que  $-50 \leq Xmin \leq Xmax \leq 50$ , el de  $Y$  tal que  $-50 \leq Ymin \leq Ymax \leq 50$ , y el de  $Z$  tal que  $-50 \leq Zmin \leq Zmax \leq 0$ . Los valores por defecto de las variables son  $Xmin = Ymin = -30$ ,  $Xmax = Ymax = 30$ ,  $Zmin = -50$  y  $Zmax = 0$ . La selección de la posición se realiza de forma aleatoria, por ende, el algoritmo simplemente realiza las siguientes tres operaciones  $X = randAtoB(Xmin, Xmax)$ ,  $Y = randAtoB(Ymin, Ymax)$  y  $Z = randAtoB(Zmin, Zmax)$ .

El siguiente efecto es el filtro, el paso 1.8 del algoritmo principal. Este no necesariamente se aplica aunque se encuentre habilitado, ya que existe además una elección aleatoria para decidir si realmente se utiliza. Esto quiere decir que al material no siempre se le aplica esta transformación, por lo que aporta diversidad a la obra. Los parámetros que se definen para este efecto son: el tipo de filtro, denotado como *ftype*, la frecuencia, denotada como *frequency*, y  $q$ , que puede ser tanto el factor de calidad o el pico

de corte. El tipo de filtro se establece según una elección aleatoria de los elementos de la lista *ftypeList*. Esta lista contiene como máximo la representación de los cuatro tipos de filtros posibles (ver [sección 3.4](#)). Específicamente, el usuario puede decidir sobre cuáles efectos son tomados en cuenta y cuáles no, por lo tanto, los que son tomados en cuenta aparecen como elementos en *ftypeList*. Para los tipos de filtros *lowpass* y *haighpass* el valor de  $q$ , que representa el pico de corte, se define siempre como 1. Para establecer *frequency* se definen las variables  $fmin$  y  $fmax$ , que pueden ser alteradas por el usuario, tal que  $40hz \leq fmin \leq fmax \leq 18000hz$ . Y para establecer  $q$  se definen las variables  $qmin$  y  $qmax$ , que pueden ser alteradas por el usuario, tal que  $0.1 \leq qmin \leq qmax \leq 10$ . Los valores por defecto son  $fmin = 80$ ,  $fmax = 10000$ ,  $qmin = 0.1$  y  $qmax = 10$ . En el caso de *frequency* se establece que solo son posibles 249 valores discretos. Para esto, desde los  $40hz$  hasta los  $100hz$  la diferencias entre los valores de la sucesión se mantienen en 1; entre  $100hz$  y  $1000hz$  la sucesión de los valores tienen una diferencia de 10; entre  $1000hz$  y  $10000hz$  de 100; y entre  $10000hz$  y  $18000hz$  de 1000. La sucesión de los valores de *frequency* quedaría entonces 40, 41, ..., 99, 100, 110, ..., 190, 1000, 1100, ..., 9900, 10000, 11000, ..., 18000. Para  $q$  se establecen 37 valores posibles en total, tal que desde 0.1 a 1 la sucesión de valores tiene una diferencia de 0.05; entre 1 y 2 de 0.1; y entre 2 y 10 de 1. De esta manera, la sucesión de los valores de  $q$  queda 0.1, 0.15, ..., 0.95, 1, 1.1, 1.2, ..., 1.9, 2, 3, ..., 9, 10. Por consiguiente, como ocurren en la velocidad de muestreo, se definen las variables primas tal que  $0 \leq fmin' \leq fmax' \leq 248$ , donde 0 mapea a 40 y 248 a 18000, y  $0 \leq qmin' \leq qmax' \leq 36$ , donde 0 mapea a 0.1 y 36 a 10. El algoritmo que define los parámetros del filtro y su mapeo es el siguiente:

```

1 Se define  $m$  como el tamaño de ftypeList
2 Se define  $r = randAtoB(0, m-1)$ .
3 Se define  $fm = randAtoB(fmin', fmax')$ .
4 Se define  $qm = randAtoB(qmin', qmax')$ .
5 Se define  $ftype = ftypeList_r$ .
6 Si  $fm \leq 60$  entonces  $frequency = fm + 40$ .
7 Si  $60 < fm \leq 150$  entonces  $frequency = (fm - 50) \times 10$ .
8 Si  $150 < fm \leq 240$  entonces  $frequency = (fm - 140) \times 100$ .
9 Si  $240 < fm \leq 248$  entonces  $frequency = (fm - 230) \times 1000$ .

```

10 Si  $tftype$  representa el *lowpass* o *highpass* entonces  $q = 1$ , de lo contrario:

10.1 Si  $qm \leq 18$  entonces  $q = (qm + 2) / 20$ .

10.2 Si  $18 < qm \leq 28$  entonces  $q = (qm - 8) / 10$ .

10.3 Si  $28 < qm \leq 36$  entonces  $q = qm - 26$ .

Por último, se encuentra el efecto de eco, el paso 1.9 del algoritmo principal. De la misma manera que el efecto de filtro, existe una elección aleatoria para decidir si realmente se utiliza el efecto. Los parámetros que se definen son la ganancia de feedback, denotado como  $fgain$ , y el tiempo de delay, denotado como  $delay$ . Estos parámetros se establecen según las variables  $fgmin$  y  $fgmax$  para  $fgain$ , que pueden ser alteradas por el usuario, tal que  $0.05 \leq fgmin \leq fgmax \leq 0.9$ , y  $dmin$  y  $dmax$  para  $delay$ , que pueden ser alteradas por el usuario, tal que  $100ms \leq dmin \leq dmax \leq 5000ms$ . Los valores por defecto de estas variables son  $fgmin = 0.25$ ,  $fgmax = 0.85$ ,  $dmin = 400ms$  y  $dmax = 4000ms$ . Para  $fgain$  se definen 18 valores posibles en total, tal que la diferencia entre los valores para toda la sucesión es 0.05. La sucesión de los valores de  $fgain$  resulta en 0.05, 0.1, 0.15, ..., 0.85, 0.9. Para  $delay$  se definen 50 valores posibles, tal que para toda la sucesión la diferencia entre los valores es 100. La sucesión de los valores de  $delay$  quedan 100, 200, 500, ..., 4800, 4900, 5000. Para esto, se definen las variables primas  $0 \leq fgmin' \leq fgmax' \leq 17$ , de manera que 0 mapea a 0.05 y 17 a 0.9, y  $0 \leq dmin' \leq dmax' \leq 49$ , de manera que 0 mapea a 100, y 49 a 5000. En síntesis, los parámetros del efecto de eco se seleccionan y mapean de la siguiente manera:

1 Se define  $fgm = randAtoB(fgmin', fgmax')$ .  
 2 Se define  $dm = randAtoB(dmin', dmax')$ .  
 3 Se define  $fgain$  tal que  $fgain = (fgm + 1) / 20$ .  
 4 Se define  $delay$  tal que  $delay = (dm + 1) / 10$ .

Una vez que el material pasa por todas estas decisiones y procedimientos se realiza la reproducción del mismo, como establece el paso 1.10 del algoritmo principal.

## 4.5 Otros

Existen un conjunto de características que están por fuera del algoritmo principal e involucran interactividad con el usuario.



Como ya fue mencionado, el sistema permite agregar o eliminar los materiales en tiempo de ejecución. Un material puede ser agregado en cualquier momento, y cuando el sistema detecta que existe forma parte del circuito del algoritmo principal. Para eliminar un material es necesario revisar si este se está reproduciendo, y en ese caso se lo frena, luego se lo elimina, y deja de existir para el sistema. Se decidió agregar la facilidad de poder eliminar todos los materiales al mismo tiempo.

Otra característica es que el usuario puede reproducir manualmente los materiales. Esto en principio fue incluido para verificar que los materiales se hayan cargado de forma correcta. Agrega un punto de maleabilidad de la obra por parte del usuario. Gracias a esto, el usuario puede decidir sobre la reproducción de cualquier material en cualquier momento en paralelo al sistema. El usuario ya no solo incide en la organización temporal de la obra alterando las probabilidades de selección del sistema, sino que además se convierte directamente en un agente de decisión de la misma. Además, la consecuencia de esta característica permite frenar una reproducción decidida por el sistema. Cabe aclarar que toda reproducción manual introduce los pasos 1.4 al 1.10 del algoritmo principal, es decir, que se aplican las transformaciones del material.

El efecto de recorte, en conjunto con el paso 1.3 del algoritmo principal, puede llegar a producir el tradicional sonido de “click” en los puntos de edición. Se decidió incorporar los efectos de ganancia de *fadein* y *fadeout*, para medianamente alisar la aparición y desaparición del sonido. A la reproducción de los materiales realizada por el sistema se aplican ambos efectos, y a la reproducción manual solo se aplica el *fadeout*. Esta es la única diferencia que existe entre la reproducción manual y la del sistema. La implementación del aumento de ganancia de 0 a 1 del *fadein* se realiza de forma exponencial, mientras que en el *fadeout*, la disminución de ganancia de 1 a 0 es lineal. La forma que resulta de esto se puede ver en la figura 4.5. Las duraciones de ambos efectos pueden ser cambiadas por el usuario. Por defecto la duración para *fadein* es 100ms y para *fadeout* 160ms. El valor máximo que pueden alcanzar ambos efectos es 240ms y el valor mínimo 0ms. Si el usuario evalúa las duraciones en 0 entonces los efectos no se aplican, y la obra convive con tales sonidos si

aparecen. La implementación de estos efectos cambian ligeramente el intervalo de tiempo que generan el efecto de recorte. Como se puede intuir del paso 1.3 del algoritmo principal, el fin del intervalo, es decir *rep*, *ep* o el fin forzado por el sistema ( $t_2$  en la figura 4.5), representa el comienzo del *fadeout*, por lo tanto realmente al tiempo total de reproducción es la duración del intervalo más la duración de *fadeout*. Claramente en el caso de que la reproducción haya llegado al final original del material, *d*, el *fadeout* no se ejecuta.

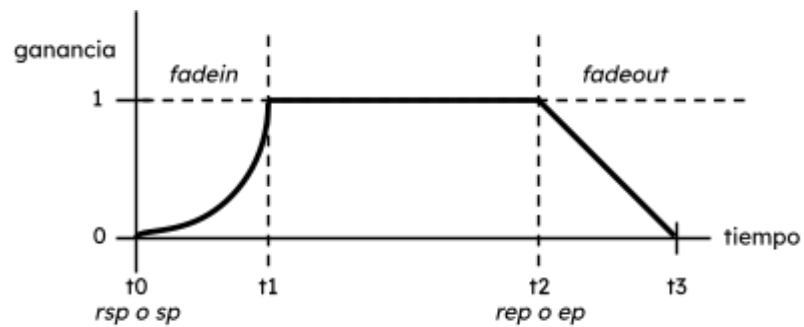


Figura 4.5 Forma que genera el fadein y el fadeout.

## 5 Análisis de resultados

En términos generales lo que busca un análisis es la comprensión o el entendimiento de algo. Por lo tanto, la comprensión o el entendimiento de cómo está compuesta o determinada la obra, es decir, cómo opera la obra, cómo está pensada la distribución de los materiales, su repetición, su transformación, entre otras cosas, puede observarse en los capítulos anteriores, donde se describe el funcionamiento del sistema. Lo que se presenta en este capítulo es cómo pueden llegar a ser los resultados de la obra.

La obra depende de un conjunto de parámetros que un usuario puede cambiar, por ende los valores de los mismos definen los resultados. Especialmente el análisis se enfoca en ciertos fenómenos sonoros que ocurren con frecuencia o que sean inesperados. En primer lugar se observan las transformaciones del material introducido, y cuales consecuencias pueden generar. Y en segundo lugar, se observan los fenómenos de articulación entre materiales, es decir, si la distribución temporal genera superposición de los materiales o separación mediante silencio, como todos los grises entre medio. Cabe aclarar que las descripciones que se presentan a continuación son intuiciones que provienen tanto de un razonamiento de los parámetros, como de la escucha de múltiples experimentaciones con las posibilidades de la obra.

### ***5.1 Fenómenos en la transformación de los materiales***

Uno de los desafíos principales de esta obra fue la aplicación de efectos o transformaciones sobre archivos de audio que no son conocidos. La estrategia elegida fue utilizar un conjunto de efectos cuya aplicación podría realizarse de manera medianamente generalizable sobre cualquier archivo de audio. En este capítulo justamente se ven algunos fenómenos que resultan de esta estrategia.

En principio, se puede llegar a calcular de cuántas maneras distintas totales puede aparecer un material teniendo en cuenta la cantidad de valores de cada parámetro de cada efecto. Esto se realiza mediante el siguiente cálculo, que no se tiene en cuenta el efecto de

recorte (*rsp* y *rep*) o se entienden que esta deshabilitado, y donde cada nombre de parámetro representa la cantidad de valores:

$$(pbr) \times (X \times Y \times Z) \times (1 + (2 \times frequency) \times (q + 1)) (1 + (fgain \times delay))^{29}$$

Tomando los valores totales de cada parámetro según las posibilidades del sistema esto resulta en:

$$(21) \times (101 \times 101 \times 51) \times (1 + (2 \times 249) \times (37 + 1)) (1 + (18 \times 50)) = 186,291,439,061,175$$

Si se contara el efecto de recorte claramente este número aumenta, pero para esto es necesario que el material tenga una duración mayor o igual a 1 y contar todos los intervalos temporales entre 500ms y la duración del material. Claramente cuanto mayor sea la duración del material existirán mayor cantidad de intervalos temporales. Si tanto *rsp* como *rep* están habilitados entonces al resultado de la ecuación anterior habría que multiplicarla por la cantidad total de intervalos posibles, es decir,  $\frac{(d-4) \times (d-3)}{2}$ , donde *d* es la duración del material o representa el intervalo de corte realizado manualmente tal que  $d = ep - sp$  (y como se muestra en la sección 4.4 se cuenta en cientos de milisegundos). Por lo tanto, el total de las transformaciones del material que el sistema posibilita es  $186,291,439,061,175 \times \frac{(d-4) \times (d-3)}{2}$ . Claramente este número representa la necesidad de generar una gran cantidad de transformaciones. La obra distribuye temporalmente solo los materiales introducidos, por lo tanto, para que no exista una sensación de desinterés por la repetitividad de los mismos es que se introduce esta diversidad de apariciones.

Sobre el cálculo anterior deben hacerse un conjunto de aclaraciones. En primer lugar, este se da solo si el usuario decide poner a su máxima extensión todos los intervalos de los efectos con los que puede interactuar. Por lo tanto, se presume que en la mayoría de los casos la cantidad de transformaciones es menor, ya que este fenómeno no debería pasar con tanta regularidad. Otro elemento que asume el cálculo es que todos los efectos están

---

<sup>29</sup> La introducción de los paréntesis están dados para separar el cálculo de cada efecto. Tanto en los efectos de filtro y eco, se suma 1 a la multiplicación de la cantidad de valores de sus parámetros. Esto está dado ya que existe una posibilidad de que los mismos no sean seleccionados. Y en el efecto de filtro se diferencian los casos donde *q* se tiene en cuenta y los que no.

habilitados, por lo tanto, en el caso de que uno de los mismos no lo esté simplemente hay que eliminar sus posibilidades del cálculo.

Un problema que no tiene en cuenta este cálculo es el intervalo temporal de material que realmente es reproducido en la práctica. Como ya se nombró, el paso 1.3 del algoritmo principal puede alterar el tiempo de reproducción de los materiales que se están ejecutando y son seleccionados de nuevo. En la próxima sección se verá que este fenómeno está dado por la relación entre la duración de los materiales y los valores del intervalo entre  $t_{min}$  y  $t_{max}$ . Pero, en el caso de que esta acción se realice, entonces cualquier intervalo seleccionado por  $r_{sp}$  y  $r_{ep}$  es posible que sea cortado (cuanto mayor sea el intervalo mayor es su probabilidad de ser cortado), y por lo tanto a la práctica, es decir, en la reproducción, los intervalos más pequeños son más probables de aparecer.

La cantidad de las transformaciones en términos de los valores de cada parámetro, a pesar de las aclaraciones, puede seguir siendo un número elevado. Pero esta contabilidad tiene en cuenta cada pequeño cambio que pueda existir del material, por lo cual, resulta relevante preguntar ¿Cuántas transformaciones realmente pueden llegar a generar un cambio significativo sobre el material? Y esto conlleva preguntarse ¿Qué se entiende por significativo? De manera simplista se puede decir que con *significativo* nos referimos a las diferencias que existen, de forma comparativa, entre el archivo introducido en la obra y la reproducción del mismo que puedan resultar importantes para el usuario. Como esto representa la propia sensibilidad de cada usuario, se busca entonces aquellas supuestas transformaciones que, se creen, evidentemente no son significativas. En primer lugar, por la naturaleza genérica de los efectos puede ocurrir que el filtro atenúe un conjunto de frecuencias que no son parte del material o que tienen una potencia sumamente baja. El resultado de esto es la misma onda previa a la implementación del filtro. Tal vez, en algunos casos pueden llegar a escucharse pequeños cambios que solo son perceptibles para el oído de un técnico de audio. Por otro lado, mientras que el cambio mínimo de parámetros en los efectos de recorte y de velocidad de muestreo representan un cambio audible, es muy probable que para algunos parámetros de los demás efectos no lo representen. Por ejemplo,

en el efecto de delay el cambio de la ganancia de feedback, *fgain*, de 0.5 a 0.45 no parece ser muy significativo, teniendo en cuenta que se mantienen los demás parámetros, aun así está contabilizado en el cálculo anterior. Lo mismo puede ocurrir en el efecto de paneo con cualquiera de sus parámetros, pero tal vez en especial con *Z* ¿Qué tan audible es la diferencia entre  $Z = -26$  y  $Z = -25$  o  $Z = -27$ ? Y con el efecto de filtro con el parámetro de frecuencia, *frequency*, la diferencia entre 80hz y 81hz o entre 9500hz y 9600hz realmente no parece muy significativa. Claramente relaciones más grandes entre los valores de los parámetros si evidencian cambios perceptibles. Aunque resulte obvio, cabe decir que los materiales tienen los cambios más significativos cuando se combinan todos los efectos.

El efecto de filtro tiene otro fenómeno. Como ya se sabe, puede darse el caso que el filtro atenúa frecuencias inexistentes o irrelevantes del material, pero también, puede darse el caso contrario, donde la atenuación se realiza de casi todas las frecuencias del material. La consecuencia de esto es una reducción considerable del volumen. Si se combina con la propia reducción de volumen generada por el parámetro *Z* del paneo, disminuye aún más las posibilidades de que el material, que se supone que se está reproduciendo, pueda oírse. Además, habría que tener en cuenta el problema de enmascaramiento que se puede generar cuando se ejecuta el material en conjunto con otros. Otro problema puede darse en el caso de que el material tenga secciones con volumen muy bajo o en silencio, entonces el efecto de recorte podría llegar a seleccionar estas partes, y se tiene la misma problemática anterior. Por lo tanto, si naturalmente se selecciona un fragmento de material con bajo volumen y se combina con el fenómeno de filtro y/o de paneo, los resultados son más agravados. Claramente esto podría generar una gran confusión en el usuario, ya que un material que parecería estar en reproducción no está siendo parte del conjunto sonoro, es decir, no es escuchado.

## ***5.2 Resultados en las relaciones temporales entre los materiales***

En este capítulo se verán qué fenómenos ocurren en las combinaciones de los materiales a través del tiempo dadas por el sistema. La mayoría de estos fenómenos se

generan en relación a las decisiones del usuario, en relación a los materiales que introduce y las configuraciones que cambia.

Suponiendo que la cantidad de materiales es menor o igual a 15, cuando todos los materiales son ejecutados genera una articulación por yuxtaposición o separación por silencio de la música. Que sea una o la otra de las articulaciones, y qué tanto dura el silencio en la segunda, depende de las configuraciones de los efectos de *fadein* y *fadeout*. Si las configuraciones por defecto no fueron alteradas, se entiende más bien una separación. Se puede observar de manera más general que este fenómeno de articulación también ocurre cuando todos los materiales que se encuentran en reproducción son seleccionados nuevamente, ya sin importar la cantidad de materiales existentes en el sistema.

Claramente el fenómeno anterior pasa de manera más desapercibida cuando menos cantidad de materiales que están en reproducción son seleccionados nuevamente. Para lograr esto, es necesario un cambio de valores especialmente en las probabilidades de los cardinales de los conjuntos y de los materiales, que por defecto son equiprobables. Por un lado, si la cantidad de materiales es mayor a 15 sería posible constantemente ir cambiando las probabilidades de los mismos, para que aquellos que se están reproduciendo tengan menos probabilidad de ser nuevamente seleccionados. Además, para cuando hay menos de 16 materiales se puede bajar, o definir en 0, la probabilidad de los cardinales que sean mayores o iguales a la cantidad de materiales. Cuanto menores sean los cardinales con mayor probabilidad en relación a la cantidad de materiales entonces la probabilidad de que se seleccione un material que se está reproduciendo es menor.

Ahora bien, supongamos que tenemos un conjunto de materiales cuyas duraciones se acercan a  $x$ . Si el valor  $x$  es menor o igual a la mitad de  $t_{max}$  (es decir  $x \leq \frac{t_{max}}{2}$ ), entonces existe una gran probabilidad, al menos  $\frac{1}{2}$  o mucho más, de que el sistema genere continuamente momentos de silencio en la distribución temporal de los materiales. Es decir, por cada reproducción de los grupos de materiales que se ejecutan al mismo tiempo, existirá una separación de silencio. Claramente cuanto menor sea  $x$  mayor será la probabilidad de

estos momentos, como también mayor será la duración del silencio entre el fin de las reproducciones y las ejecuciones. Si  $x$  es menor a  $t_{min}$ , la probabilidad de que el sistema genere estos momentos es cercana a 1, o directamente 1, es decir, que siempre o casi siempre existen silencios entre las apariciones de los eventos sonoros. También ocurre lo contrario, si el valor de  $x$  es mayor a la mitad de  $t_{max}$ , entonces hay menor probabilidad de que se generen estos momentos de silencio, por lo tanto hay mayor probabilidad de la permanencia sonora. Entonces, cuanto mayor sea  $x$ , menor es la probabilidad de los momentos de silencio; y si  $x$  es mayor a  $t_{max}$  entonces la permanencia de sonido debería tener una probabilidad cercana a 1.

La descripción anterior depende de que se ejecuten los materiales enteros, pero para tal caso el efecto de recorte del sistema debe estar deshabilitado ( $r_{sp}$  y  $r_{ep}$ ) y el usuario no debe implementar ningún recorte manual ( $sp$  y  $ep$ ). Por lo tanto, si se tienen en cuenta estos efectos, en realidad hay que considerar que las duraciones de los materiales son por lo general considerablemente menores a la duración original del material, entendiéndose que esta duración completa del material es solo una de todas las posibilidades de presentarse. En términos generales este fenómeno aumenta la probabilidad de aparición de los momentos de silencio. Esto altera especialmente el caso contrario donde supuestamente habría mayor probabilidad de permanencia sonora si  $x$  es mayor a  $\frac{t_{max}}{2}$ . Es cierto que cuando mayor sea  $x$  en relación al intervalo menor será la probabilidad de que ocurran los momentos de silencio, pero ya no implica que si  $x$  es mayor a  $t_{max}$  la probabilidad de la permanencia sonora se acerque a 1. En este caso, alrededor de  $\frac{1}{3}$  de  $x$  más 5 (es decir  $\frac{x}{3} + 5$ , el 5 se debe a la restricción nombrada en la [sección 4.2](#)) debe ser igual o mayor a  $\frac{t_{max}}{2}$  para que la probabilidad de la permanencia sonora sea igual o mayor a  $\frac{1}{2}$ <sup>30</sup>; y  $\frac{1}{3}$  de  $x$  mayor a  $t_{max}$  comienza a representar una probabilidad cercana a 1 de permanencia sonora.

---

<sup>30</sup> Como el intervalo entre  $r_{sp}$  y  $r_{ep}$  es aleatorio, la selección de intervalos mayores a  $1/3$  de duración tienen una probabilidad parecida a la selección de intervalos menores o iguales a  $1/3$  de la duración.



Una característica que existe de lo anterior es que mientras menor sea  $\frac{x}{3} + 5$  sobre  $\frac{t_{max}}{2}$  entonces los intervalos temporales de los materiales comienzan a tener mayor probabilidad de que se ejecuten completamente, es decir, que no sean cortados por el sistema. En el caso contrario, cada vez es más probable que exista el corte del sistema sobre los materiales seleccionados. De todas maneras, para hablar de permanencia sonora habría que tener en cuenta el fenómeno de separación que se describe al principio del capítulo, la cantidad de materiales existentes y sus probabilidades a ser seleccionados.

En toda la descripción se tiene en cuenta que la duración aproximada de todos los materiales es  $x$ , pero ¿qué ocurre cuando tenemos materiales con duraciones muy diversas? La respuesta es obvia, ocurren mayor variedad de fenómenos. Se podría buscar cual de los fenómenos anteriores ocurren con mayor frecuencia tomando como  $x$  el promedio de las duraciones. Pero en este caso, tanto la probabilidad de los materiales a ser seleccionados, como la cantidad de materiales existentes, tienen una gran relevancia. Por ejemplo, si existe un conjunto de materiales cuya probabilidad de selección es alta y son pocos en relación al total de materiales, y su duración cumplen con  $\frac{1}{3}x > t_{max}$ , entonces es más probable que ocurra el fenómeno correspondiente. Por lo general, podemos observar que ocurren ambos fenómenos con distintas magnitudes.

## **ANEXO**

## A Aplicación práctica

Este anexo consta de la aplicación práctica del capítulo 4, es decir, la traducción al lenguaje de programación JavaScript. Aquí no se desarrollará una explicación del lenguaje o de las interfaces de programación de los navegadores que se utilizan. En tal caso, lo mejor sería leer directamente la documentación o artículos relacionados<sup>31</sup>, es decir, que en gran parte se asume este conocimiento.

En general se utiliza programación imperativa, es decir, en base a cambios de estado. Por ende, la mayoría de las variables que existen dentro de funciones y que no están definidas en las mismas, como también algunos argumentos, hacen referencia a estados globales. Para simplificar la racionalización de los estados globales se utilizará un objeto denotado *Global* que teóricamente almacena todas estas variables.

Cabe aclarar que todo el código presentado en este anexo no representa realmente la implementación real de la obra, es solo una aproximación. El código de la obra es bastante más largo y tiene sus complejidades, ya que incorpora toda la interfaz gráfica. El código se encuentra guardado en <https://github.com/AxelArielSaravia/inSets>, por si se quiere observar.

### A.1 Tiempo a esperar entre reiteraciones

Aquí se describe la aplicación práctica de la [sección 4.2](#). La función denominada *rand0to1()* existe dentro de JavaScript como método del objeto incorporado *Math* y se llama *Math.random()*. Consecuentemente, la implementación de la función *randAtoB* se traduce de la siguiente manera:

```
1 function randAtoB(min, max) {
2   try {
3     if (typeof min !== "number" || typeof max !== "number") {
4       new Error("The argument must be a number");
5     }
6   }
7 }
```

---

<sup>31</sup> Se recomienda la lectura de estos temas en <https://developer.mozilla.org/en-US/>.

```

6   return Math.floor(Math.random() * (max - min + 1) + min);
7 } catch (err) {
8   console.error(err);
9   return;
10 }
11 }

```

En este caso el truncamiento se realiza con la función *Math.floor()*.

La selección del valor de *T* queda exactamente igual que como se describe en la [sección 4.2](#) (su implementación se puede ver más adelante en la [sección A.4](#) del anexo).

## A.2 Selección de materiales a ejecutar

Se describe la aplicación práctica de la [sección 4.3](#). El algoritmo para seleccionar el cardinal se describe de la siguiente manera:

```

1 function select_cardinal(VPC, sumOfEvents) {
2   //Inicialización del Método de Alias de Vose
3   const m = VPC.length; // m = n + 1
4   const rand_i = randAtoB(0, length - 1);
5   const alias = Array(length);
6   const prob = Array(length);
7   const smallList = [];
8   const largeList = [];
9   const P = VPC.map(function m(event, i) {
10    const res = event * m;
11    if (res < sumDeEventos) {
12      smallList.push(i);
13    } else {
14      largeList.push(i);
15    }
16    return res;
17  });
18  while (smallList.length !== 0 && largeList.length !== 0) {
19    const j = smallList.pop();
20    const g = largeList.pop()
21    prob[j] = p[j];
22    alias[j] = g;

```

```

23   P[g] = (P[g] + P[j]) - sumOfEvents;
24   if (P[g] < sumOfEvents) {
25       smallList.push(g);
26   } else {
27       largeList.push(g);
28   }
29 }
30 while (smallList.length !== 0) {
31     prob[smallList.pop()] = 1;
32 }
33 while (largeList.length !== 0) {
34     prob[largeList.pop()] = 1;
35 }
36 return (
37     randAtoB(0, sumOfEvents-1) < prob[rand_i]
38     ? rand_i
39     : alias[rand_i]
40 );
41 }

```

Esta función precisa como primer argumento la lista *VPC*, y como un segundo argumento *sumOfEvents*. En este caso la lista *VPC* es una *lista de numeradores*. En este sentido

*sumOfEvents* se define como  $\sum_{j=0}^{m-1} VPC_j$  (siendo  $m$  el largo de la lista *VPC*). Esto conlleva una

serie de pequeños cambios con respecto a la descripción dada en la sección 4.3.

Específicamente, las listas *smallList* y *largeList* tienen esta nueva definición (que se encuentra en las líneas 9 y 17 de la función):

$$smallList = lista\{i \mid 0 \leq i < m \wedge P_i < sumOfEvents\}$$

$$largeList = lista\{i \mid 0 \leq i < m \wedge P_i \geq sumOfEvents\}$$

Luego en la línea 23 en vez de restar 1, como en el paso 3.5 del algoritmo, se resta *sumOfEvents*. Luego, en la línea 24, en vez de verificar si  $P_g < 1$ , como en el paso 3.6, se verifica  $P_g < sumOfEvents$ . Por último, en la línea 37, en vez de buscar un número aleatorio entre 0 y  $1f$ , como indica el paso 7 del algoritmo, se busca un número entre 0 y

*sumOfEvents* – 1. Para todas las listas y vectores del algoritmo se utilizan directamente el tipo de datos *array*.

Para la selección de los materiales se definen dos funciones por separado. Una es la implementación del algoritmo, llamada *choose\_materials*, y la otra es la inicialización de las variables según el *cardinal*, llamada *define\_materials*.

```

1 function choose_materials(mList, sumList, i, w) {
2   let h = sumList.length;
3   const elements = [];
4   const totalSum = sumList[h-1];
5   while (i < w) {
6     let j = -1;
7     h -= 1;
8     { //Algoritmo de búsqueda binaria
9       const x = randAtoB(1, totalSum);
10      let startI = 0;
11      let endI = h;
12      while (startI <= endI) {
13        const midI = Math.floor((startI + endI) / 2);
14        if (sumList[midI][0] < x) {
15          startI = midI + 1;
16        } else {
17          if (sumList[midI - 1] === undefined
18            || sumList[midI - 1][0] < x
19          ) {
20            j = midI;
21            break;
22          }
23          endI = midI - 1;
24        }
25      }
26    }
27    elements.push(mList[sumList[j][1]]);
28    if (i < w - 1) {
29      totalSum = (
30        j !== 0
31        ? sumList[j-1][0]

```

```

32     : 0
33   );
34   for (let k = j; j < h; j += 1) {
35     totalSum += sumList[k+1][0] - sumList[k][0];
36     sumList[j][0] = totalSum;
37     sumList[j][1] = sumList[j+1][1];
38   }
39 }
40 i += 1;
41 }
42 return elements;
43 }

```

Las líneas 8 a la 26 especifican una búsqueda binaria, representan los pasos 4.2 y 4.3 del algoritmo correspondiente. La lista *mList* contiene los identificadores de los materiales (ver la función *define\_materials*). Existe ya que en realidad *VPM* no existe como tal, por lo tanto los índices que existen como segundo valor de los vectores en *sumList* refieren a *mList* y no a *VPM*. Otro de los cambios en relación al algoritmo es que la lista *elements* no almacena los índices, en este caso de *mList*, sino que directamente almacena el identificador del material (esto se encuentra en la línea 27).

```

1 function define_materials(materialList, cardinal, sumOfMEvents) {
2   const n = materialList.size;
3   if (cardinal <= 0) {
4     return [];
5   }
6   if (cardinal === n) {
7     return [...materialList.keys()]
8   }
9   const sumList = [];
10  const mList = [];
11  let sum = 0;
12  let index = -1;
13  if (cardinal <= Math.floor(n / 2)) {
14    materialList.forEach(function fe(material, id) {
15      mList.push(id);
16      sumList.push([sum += material.event, index += 1]);

```

```

17     });
18     return choose_materials(mList, sumList, 0, cardinal);
19 } else {
20     materialList.forEach(function fe(material, id) {
21         mList.push(id);
22         sumList.push([sum += sumOfMEvents - material.events, index += 1]);
23     });
24     return choose_materials(mList, sumList, cardinal, n);
25 }
26 }

```

Esta función presenta al principio los dos casos en que no es necesario llamar al algoritmo, es decir a la función *choose\_materials*. En las líneas 3 a la 5 se presenta el caso cuando el *cardinal* es igual a 0, entonces la función no devuelve nada. Y en las líneas 6 a la 8 se presenta el caso cuando el *cardinal* es igual a la cantidad de materiales, donde simplemente se devuelve la lista *elements* con los identificadores de todos los materiales. El argumento *materialList* es el tipo de dato Map de JavaScript, y vincula un identificador con un objeto que representa el material (en el mismo se encuentre el archivo de audio, el valor de los eventos o el numerador de probabilidad, el nombre, entre otras cosas). Justamente los identificadores de *materialList* son los que aparecen en *mList* (ver líneas 15 y 21). Como no existe *VPM* los valores de *sumList* salen de *materialList*, y como este último no tiene índices se define la variable aparte *index* para que sea utilizada (ver las líneas 16 y 22). El argumento *sumOfMEvents* simplemente se utiliza para simplificar la cantidad de procesos, representa

justamente  $\sum_{h=0}^{n-1} VPM_h$ , en el algoritmo correspondiente.

### A.3 Efectos

Se describe la aplicación práctica de la [sección 4.4](#). Salvo para los efectos de corte y velocidad de muestra, para los demás efectos es necesario el interfaz del navegador *AudioContext* (contexto de audio en español). Este es una representación general del procesamiento gráfico de audio creado a partir de *nodos de audio* que se vinculan a través de conexiones. Un *nodo de audio* es la representación genérica para todo módulo de



procesamiento de audio, como pueden ser los efectos. A través del *AudioContext* se controla tanto la creación de los *nodos* que contiene, como también la ejecución del procesamiento de audio o su decodificación. Si se busca en la documentación, en realidad las implementaciones aparecen en una versión más genérica relacionada con *AudioContext* llamada *BaseAudioContext*.

El efecto de recorte se define en la siguiente función:

```

1 function cut(sp, ep) {
2   const rspIsDisable = Global.rspIsDisable;
3   const repIsDisable = Global.repIsDisable;
4   let rsp = sp;
5   let rep = ep;
6   if (d >= 10) {
7     const rd = (
8       !rspIsDisable && !repIsDisable
9       ? randAtoB(5, se - sp)
10      : 5
11    );
12    if (!Global.rspIsDisable) {
13      rsp = randAtoB(sp, ep - rd);
14    }
15    if (!Global.repIsDisable) {
16      rep = randoAtoB(rsp + rd, ep);
17    }
18  }
19  return [rsp, rep];
20 }

```

El efecto de recorte (implementada por el sistema) se define en la siguiente función:

```

1 function createPlayBackRate(PBRmin, PBRmax, pbrIsDisable) {
2   if (!Global.pbrIsDisable) {
3     const x = randAtoB(PBRmin, PBRmax);
4     return (
5       x < 10
6       ? (x + 10) / 20
7       : x / 10

```

```

8     );
9   }
10  }

```

En este caso *PBRmin* y *PBRmax* son las versiones primas definidas en la [sección 4.4](#). Por lo tanto, entre las líneas 5 y 7 se puede observar el mapeo de los valores.

Para todas las funciones siguientes, las variables que se utilizan son sus propias versiones primas (a no ser que estas no existan). Por ende, en las funciones aparecen los mapeos correspondientes al valor necesario para la interfaz del efecto que se utiliza.

El efecto de paneo se define en la siguiente función:

```

1 function createPanner(audioContext) {
2   const PANNER = audioContext.createPanner();
3   PANNER.coneInnerAngle = 360;
4   PANNER.coneOuterAngle = 0;
5   PANNER.coneOuterGain = 0;
6   PANNER.distanceModel = "inverse";
7   PANNER.maxDistance = 10000;
8   PANNER.orientationX.value = 0;
9   PANNER.orientationY.value = 1;
10  PANNER.orientationZ.value = 0;
11  PANNER.panningModel = "HRTF";
12  PANNER.positionX.value = randAtoB(Global.Xmin, Global.Xmax) / 10;
13  PANNER.positionY.value = randAtoB(Global.Ymin, Global.Ymax) / 10;
14  PANNER.positionZ.value = randAtoB(Global.Zmin, Global.Zmax) / 10;
15  PANNER.refDistance = 1;
16  return PANNER;
17 }

```

Como se menciona en la sección 4.4, para el efecto de paneo es importante realizar la definición de la ubicación del receptor en el plano coordenado de 3 dimensiones. Esto se logra mediante el siguiente código:

```

1 if (audioContext.listener.positionX) {
2   audioContext.listener.positionX.value = 0;
3   audioContext.listener.positionY.value = 0;
4   audioContext.listener.positionZ.value = 1;

```

```

5  audioContext.listener.forwardZ.value = -5;
6  } else {
7  audioContext.listener.setPosition(0, 0, 1);
8  audioContext.lisener.setOrientation(0, 0, -5, 0, 1, 0);
9  }

```

En términos reales solo importa el código de las líneas 2 a la 5. La verificación que se realiza en la línea 1 es por legado, es decir, si el navegador no está lo suficientemente actualizado.

El efecto de filtro se define en la siguiente función:

```

1 function createFilter(audioContext) {
2   const ftypeList = Global.ftypeList;
3   const r = randAtoB(0, ftypeList.length - 1);
4   const fm = randAtoB(Global.fmin, Global.fmax);
5   const qm = randAtoB(Global.qmin, Global.qmax);
6   const ftype = (
7     ftypeList.length > 0
8     ? ftypeList[qm]
9     : "allpass"
10` );
11  const FILTER = audioContext.createBiquadFilter();
12  FILTER.channelCountMode = "max";
13  FILTER.channelInterpretation = "speakers";
14  FILTER.detune.value = 0;
15  FILTER.gain.value = 1;
16  FILTER.type = ftype;
17  FILTER.Q.value = (
18    ftype !== "lowpass" || ftype !== "highpass"
19    ? (
20      qm < 18
21      ? (qm + 2) / 20
22      : (
23        qm < 28
24        ? (qm - 8) / 10
25        : qm - 26
26      )
27    : 1
28  );

```

```

29  FILTER.frequency.value = (
30    fm < 60
31    ? x + 40
32    : (
33      x < 150
34      ? (x - 50) * 10
35      : (
36        x < 240
37        ? (x - 140) * 100
38        : (x - 230) * 1000
39      )
40    )
41  );
42  return FILTER;
43 }

```

Entre las líneas 20 y 25 está el mapeado de la variable  $q$  y entre las líneas 30 y 38 el mapeado de la variable *frequency*. En este caso, la interfaz del efecto nos brinda todos los tipos de filtros necesarios a través de la propiedad *type*, es decir, no se necesita crear una interfaz para cada tipo. La línea 9, donde se define “*allpass*” en el tipo de filtro, permite que no se realiza ningún filtrado de la señal aunque exista el nodo de filtro si es que la lista *ftypeList* se encuentra vacía. Esto se da por prevención, se supone que *ftypeList* no puede estar vacía.

El efecto de eco se define en la siguiente función:

```

1  function createDelay(audioContext) {
2    const DELAY = audioContext.createDelay();
3    const feedback = audioContext.createGain();
4    DELAY.channelCountMode = "max";
5    DELAY.channelInterpretation = "speakers";
6    DELAY.delayTime.value = (randAtoB(Global.dmin, Global.dmax) + 1) / 10;
7    feedback.gain.value = (randAtoB(Global.fgmin, Global.fgmax) + 1) / 20;
8    return {DELAY, feedback};
9  }

```

Se puede observar, la función devuelve tanto el *nodo de delay* como un *nodo de ganancia*. Esto se realiza ya que el *nodo de delay* simplemente retrasa la aparición de la señal, por lo tanto el flujo recursivo de retroalimentación debe ser realizado manualmente. Por lo tanto, esta función devuelve lo necesario para realizar tal recursión.

Por último, se define la implementación de cómo se conectan los distintos módulos o nodos de efectos creados, es decir los pasos 1.7 a 1.9 del algoritmo principal. Claramente los efectos de de recorte y de velocidad de muestreo no aparecen en tal implementación ya que no son nodos.

```

1 function create_chain(audioContext, material) {
2   const input = audioContext.createGain();
3   const output = audioContext.createGain();
4   let prev;
5   input.gain.value = 0.8;
6   output.gain.value = 0.001;
7   prev = input;
8   if (!material.pannerIsDisable) {
9     const PANNER = createPanner(audioContext);
10    prev.connect(PANNER);
11    prev = PANNER;
12  }
13  if (!material.filterIsDisable && randAtoB(0,1) === 0) {
14    const FILTER = createFilter(audioContext);
15    prev.connect(FILTER);
16    prev = FILTER;
17  }
18  if (!material.delayIsDisable && randAtoB(0,1) === 0) {
19    const {DELAY, feedback} = createDelay(audioContext);
20    const gain = audioContext.createGain();
21    DELAY.connect(feedback);
22    feedback.connect(DELAY);
23    prev.connect(DELAY);
24    prev.connect(gain);
25    feedback.connect(gain);
26    prev = gain;
27  }

```

```

28  prev.connect(output);
29  material.source.connect(input);
30  material.output.connect(output);
31  }

```

Dentro de la función se encuentran las condiciones previas para que aparezcan los efectos nombradas en la [sección 4.4](#). En principio todos los efectos deben estar habilitados por el usuario. Además, para el caso de los efectos de filtro y eco se decide aleatoriamente si son o no implementados. Para el efecto de eco, en las líneas 21 y 22 se realiza la retroalimentación, y para mantener la señal previa al efecto se agrega un nodo extra de ganancia. Al final la función relaciona la cadena generada con el material.

#### ***A.4 Algoritmo principal***

Aquí se describe la traducción del algoritmo principal, que aparece en la sección 4.1.

Para esto es necesario tener en cuenta todas las funciones vistas en este anexo. La implementación es la siguiente:

```

1  function executeWork() {
2    if (Global.started) {
3      const T = randAtoB(Global.tmin, Global.tmax);
4      const cardinal = select_cardinal(Global.VPC, Global.sumOfEvents);
5      const elements = define_materials(
6        Global.materialList,
7        cardinal,
8        Global.sumOfAudioEvents
9      );
10     setTimeout(function st() {
11       const materialList = Global.materialList;
12       for (const id of elements) {
13         const material = materialList.get(id);
14         [material.rsp, material.rep] = cut(material.sp, material.ep);
15         material.playbackRate = playBackRate(Global.PBRmin, Global.PBRmax);
16         create_chain(Global.audioContext, material);
17         play(material);

```

```
18     }
19     return execution();
20 }, T);
21 } else {
22     console.log("END");
23 }
24 }
```

En este caso la implementación de la reiteración del algoritmo se basa en llamadas recursivas de la función. Tal recursión se realiza luego de haber terminado el temporizador interno que existe en los navegadores, el cual es la función *setTimeout* de la línea 10. Esta función tiene como primer parámetro el código a ejecutar una vez terminada la espera. En este caso, dentro del código se encuentra la configuración y reproducción de los materiales seleccionados (si los hay) entre las líneas 12 y 18, y la llamada recursiva en la línea 19. El segundo argumento es el tiempo a esperar, el cual es  $T$  que fue seleccionado en la línea 3.

Para que la recursión pueda llegar a un fin en el momento que el usuario lo decida, la misma depende de la condición de que la obra haya comenzado (línea 2). En el momento que el usuario decide finalizar la obra, la variable se define como falsa y termina la recursión.

## B Cómo utilizar la obra

En este anexo se presenta el uso de la obra en relación a la interfaz visual que existe en el momento en que este trabajo fue escrito. Es de suma relevancia advertir que los cambios de la interfaz posteriores al escrito pueden dejar este anexo obsoleto.

Para adquirir la obra es necesario tener un dispositivo digital (computadora de escritorio, laptop, tablet, celular, entre otros) donde tenga instalado cualquier navegador web actual<sup>32</sup> e internet. La adquisición se realiza mediante el siguiente enlace <https://insets-music.web.app/>. Como los sonidos con los que trabaja la obra son introducidos por el usuario es necesario que el dispositivo digital que se utiliza tenga incorporados archivos de audio.

También, resulta importante aclarar que todas las acciones, como añadir archivos, eliminar archivos y cambiar configuraciones, se pueden realizar mediante la ejecución de la obra sin ningún problema.

### B.1 Pantalla de inicio

Una vez adquirida la aplicación mediante el navegador web lo primero que se presenta es la pantalla que se muestra en la figura B.1-1:

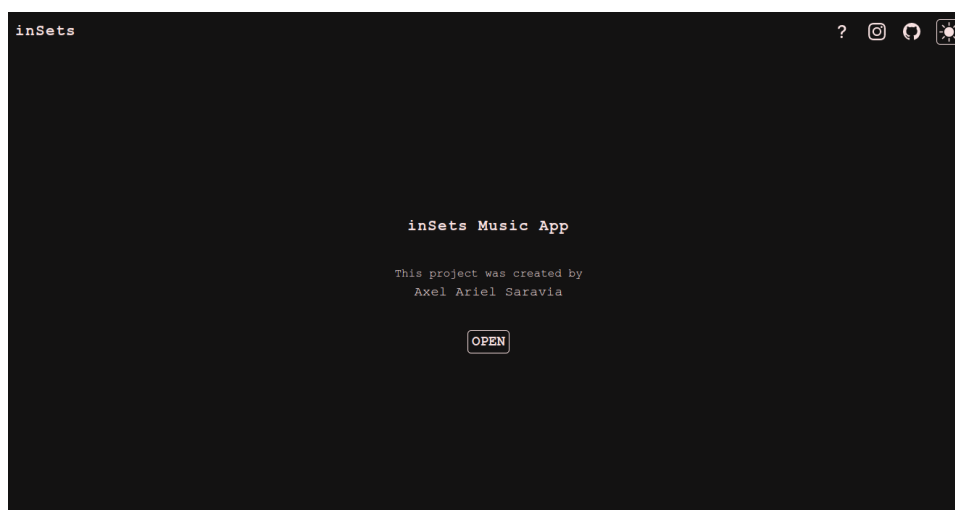


Figura B.1-1 Pantalla de inicio

---

<sup>32</sup> Como referencia se nombran las versiones estables a la fecha de algunos navegadores web: Google Chrome 111, Firefox 111, Safari 16 y Opera 96.



Esta es simplemente una pantalla de presentación y para introducirse realmente en la obra hay que apretar el botón de “OPEN”. En el caso que el botón “OPEN” no aparezca, y exista la frase “Loading...” esto quiere decir que la aplicación se está cargando y simplemente hay que esperar a que termine. Por el contrario, si la frase “Loading...” no desaparece pasado algún tiempo, entonces eso quiere decir que hay un problema. Este problema puede haberse generado por falta de internet o por incompatibilidades en relación al navegador.

Una vez apretado el botón de “OPEN” se presentan las pantallas que se muestran en las figuras B.1-2a y B.1-2b. Estas presentan cuatro secciones que son: el **encabezado** que no tiene una gran relevancia; las **configuraciones generales**, donde se encuentran todas las interacciones con el usuario que cambian valores de probabilidad, parámetros o los intervalos de los parámetros mencionados en el [capítulo 4](#); los **botones útiles**, presentan los botones para añadir archivos de audio, ejecutar o frenar la obra, y eliminar todos los archivos que fueron añadidos; y por último, la **contenedor de audios**, donde aparece una representación visual de los audios cargados.

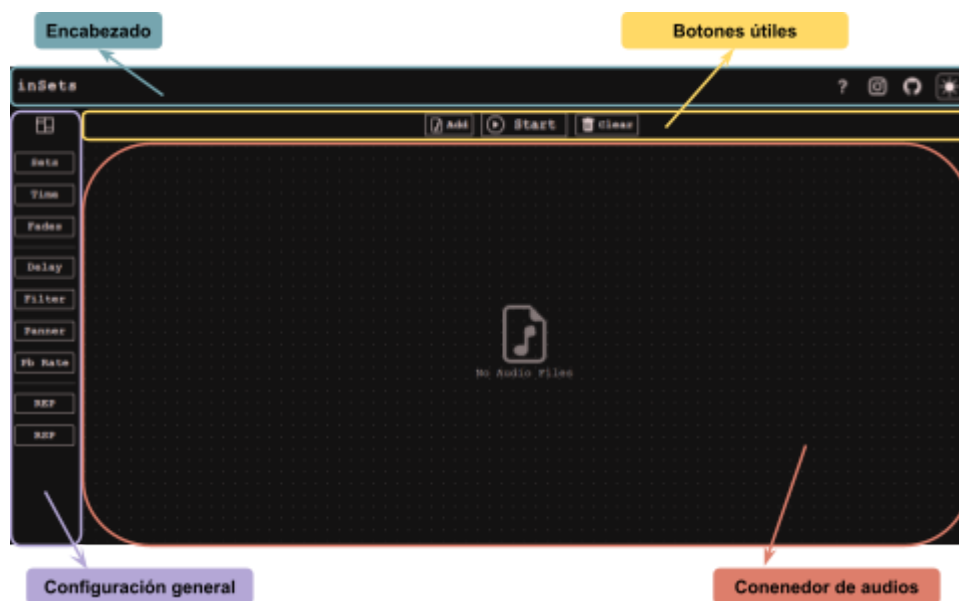


Figura B.1-2a Pantalla de la obra para escritorio

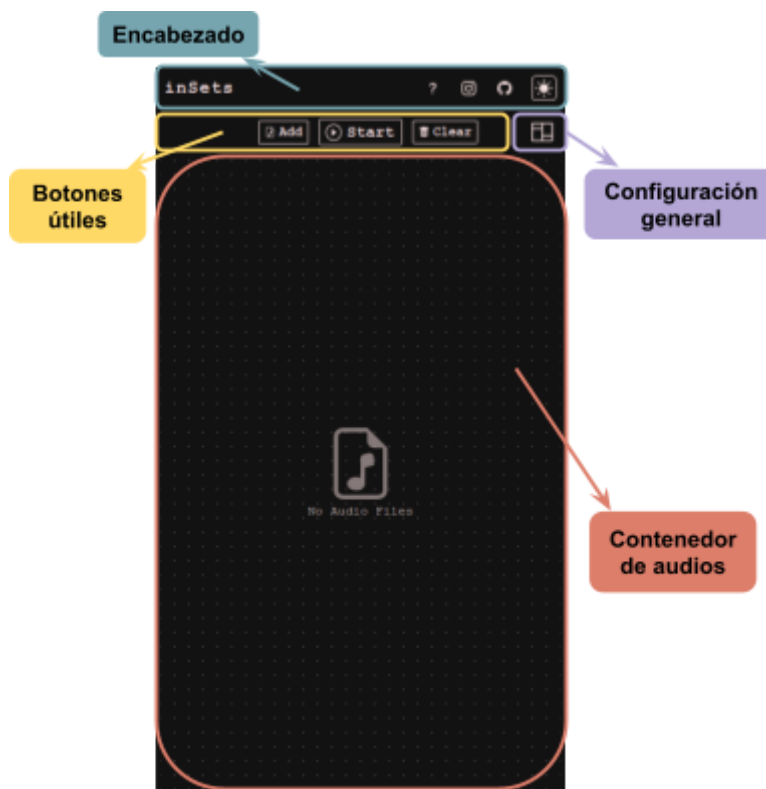


Figura B.1-2b Pantalla de la obra para dispositivos móviles

## ***B.2 Añadir archivos de audio***

Existen dos maneras de añadir archivos de audio. La primera es mediante el botón “Add” que se encuentra dentro de la sección de **Botones útiles**. Y la segunda es simplemente arrastrando el archivo sobre la **contenedor de audios**.

## ***B.3 Comenzar o frenar el sistema***

Al apretar el botón “Start” que se encuentra dentro de la sección de **Botones útiles**, la aplicación comienza a ejecutarse. El mismo botón cambia su nombre a “Stop”, por lo tanto al volver a apretarlo la aplicación se detiene.

## ***B.4 Representación visual de los audios***

La representación visual de los audios y sus características se presentan en las figuras B.4-1 y B.4-2.

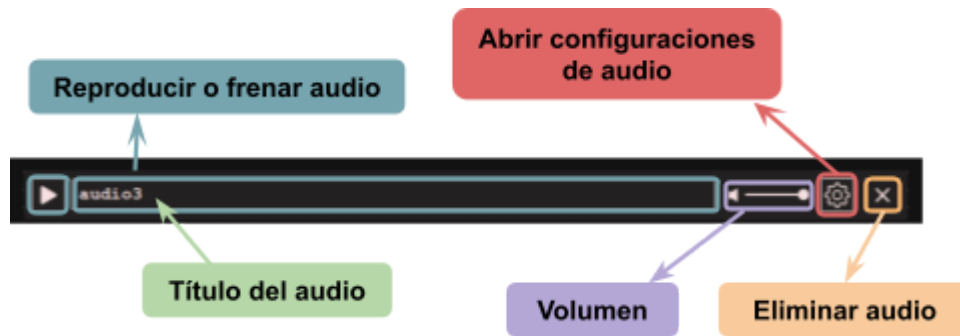


Figura B.4-1 Representación de un archivo de audio

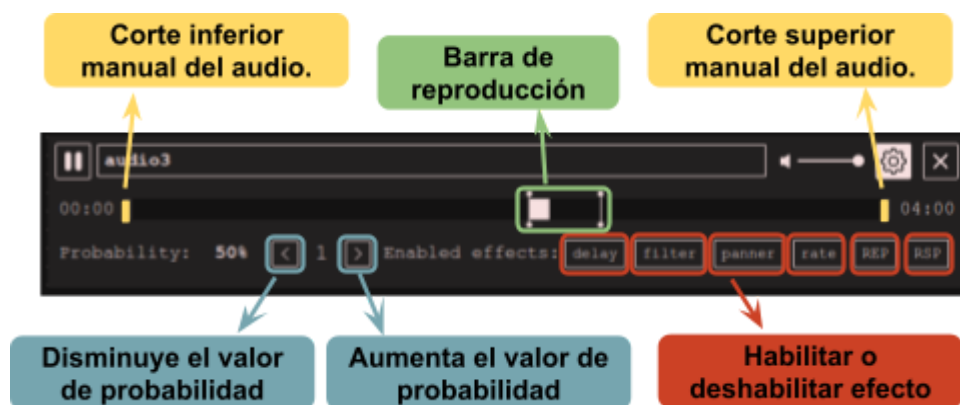


Figura B.4-2 Configuraciones del audio.

La probabilidad que aparece en los audios representa la probabilidad de los mismos a ser seleccionados, este valor aparece justamente en el vector *VPM* (ver [sección 4.3 Selección de materiales a ejecutar](#)). El cambio de probabilidad de un audio solo se puede realizar si existe más de un audio dentro de la aplicación, ya que de lo contrario siempre tendrá el 100% de probabilidad. Los botones para habilitar y deshabilitar efectos afecta a que si tal efecto es aplicado en la ejecución del propio audio. El botón llamado “rate” refiere a habilitar o deshabilitar el playback rate, es decir, la velocidad de muestreo. La representación del RSP es la delgada barra con dos círculos de la izquierda de la barra de reproducción, y la del REP es la delgada barra con dos círculos a la derecha. Y el corte inferior y superior manual, indicados en amarillo en la figura B.4-2, refieren a las variables *sp* y *ep* respectivamente.

Para distinguir los audios que son ejecutados simultáneamente por el sistema, se les asigna un color de conjunto (elegido aleatoriamente). Un audio vuelve al color por defecto si

el audio finaliza por si mismo o de manera manual por el usuario, o si la aplicación finaliza. Un audio cambia su color si es nuevamente ejecutado en simultáneo con un conjunto de audios.

### B.5 Configuraciones generales

Las configuraciones generales se dividen en siete paneles. En el panel “Sets” se pueden alterar los valores de las probabilidades de los *cardinales* de los conjuntos de audios que se van a ejecutar simultáneamente, esto se discutió en la [sección 4.3](#). Es decir, estos valores son los que se encuentran en el vector *VPC*. Este panel se muestra en la figura B.5-1.

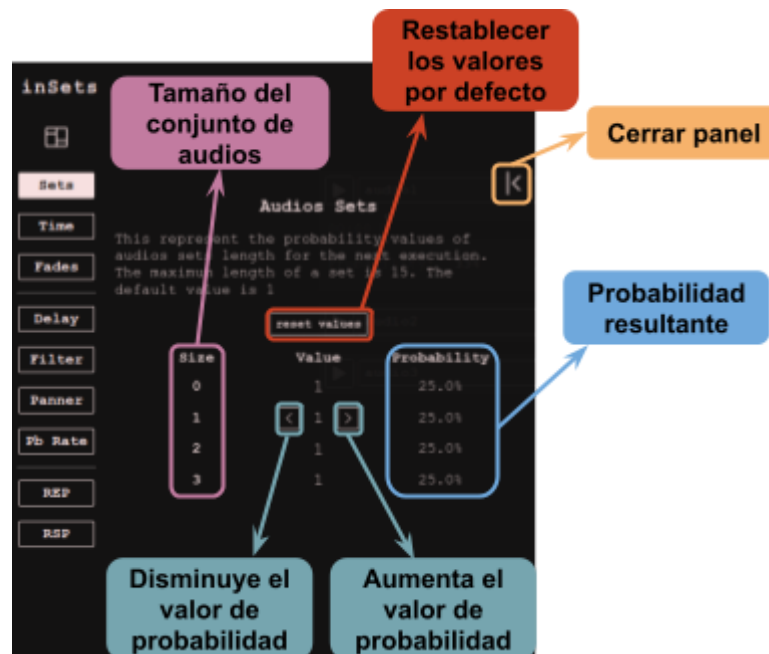


Figura B.5-1 Panel Sets.

En el panel “Time” se pueden cambiar los valores de las variables *tmax* y *tmin* (ver [sección 4.2 Tiempo a esperar entre reiteraciones](#)) mediante “*time max*” y “*time min*” respectivamente. Este panel se muestra en la figura B.5-2.

En el panel “Fades” se pueden cambiar las variables *fadein* y *fadeout* que se discutió en la [sección 4.5 Otros](#). Este panel se muestra en la figura B.5-3.

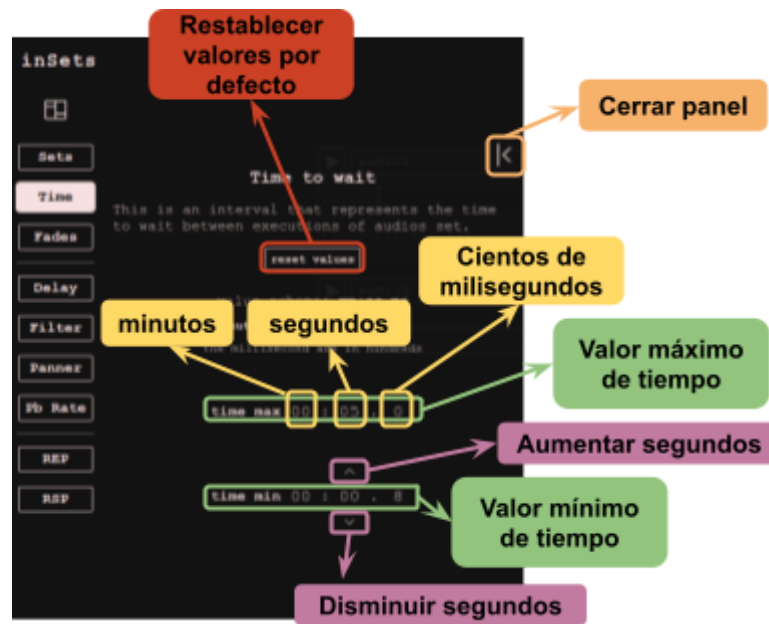


Figura B.5-2 Panel Time.

A partir de acá todos los demás paneles tienen un botón que permite deshabilitar el efecto que representan en todos los audios. Deshabilita el efecto para todos los audios existentes en la aplicación, como también, para los que se incorporan. De la misma manera, se debe apretar el mismo botón para habilitar el efecto correspondiente en todos los audios.

En el panel “Delay” se pueden alterar las variables  $dmin$  y  $dmax$  mediante “*time interval*”, y las variables  $fgmin$  y  $fgmax$  mediante “*feedback interval*” (ver [sección 4.4](#)). Este panel se muestra en la figura B.5-4.

En el panel “Filter” se pueden alterar las variables  $fmin$  y  $fmax$  mediante “*frequency interval*”, las variables  $qmin$  y  $qmax$  mediante “*q factor interval*”, y los elementos de la lista *ftypeList* mediante la selección de los efectos (ver [sección 4.4](#)). Este panel se muestra en la figura B.5-5.

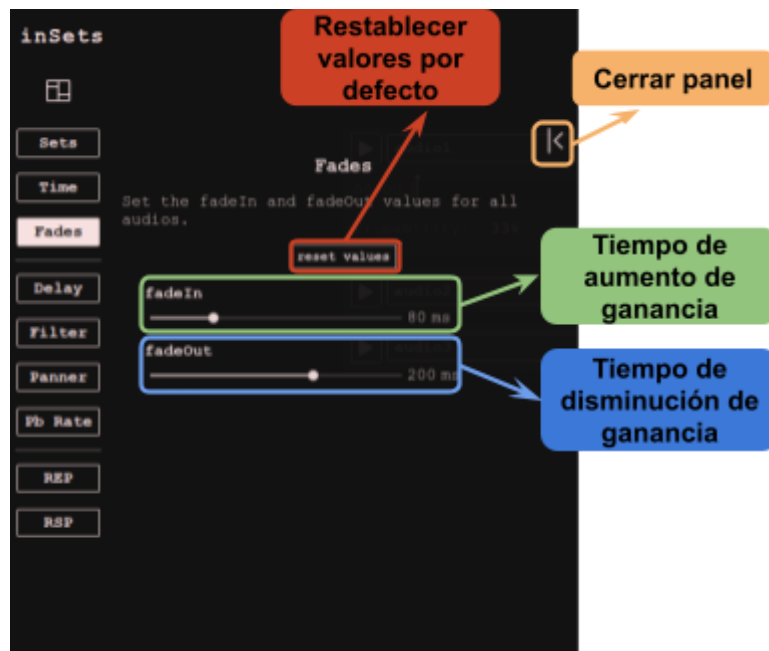


Figura B.5-3 Panel Fades.

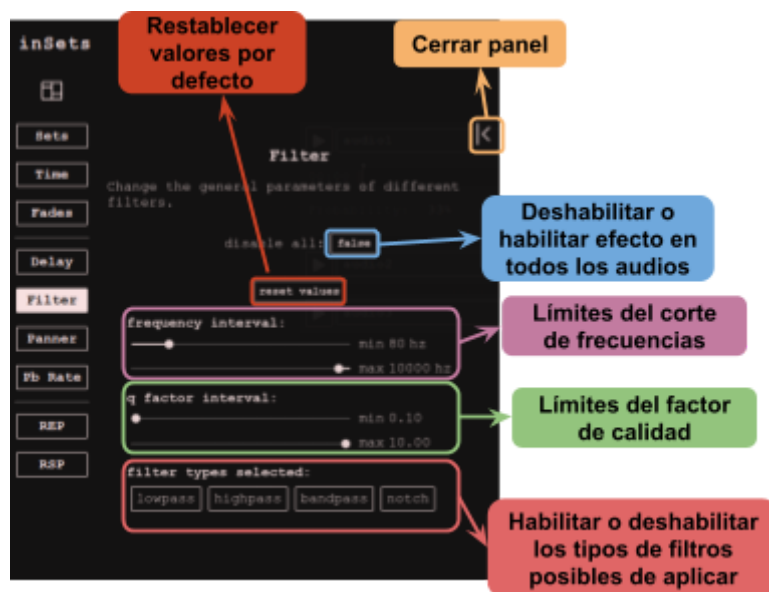


Figura B.5-4 Panel Delay.

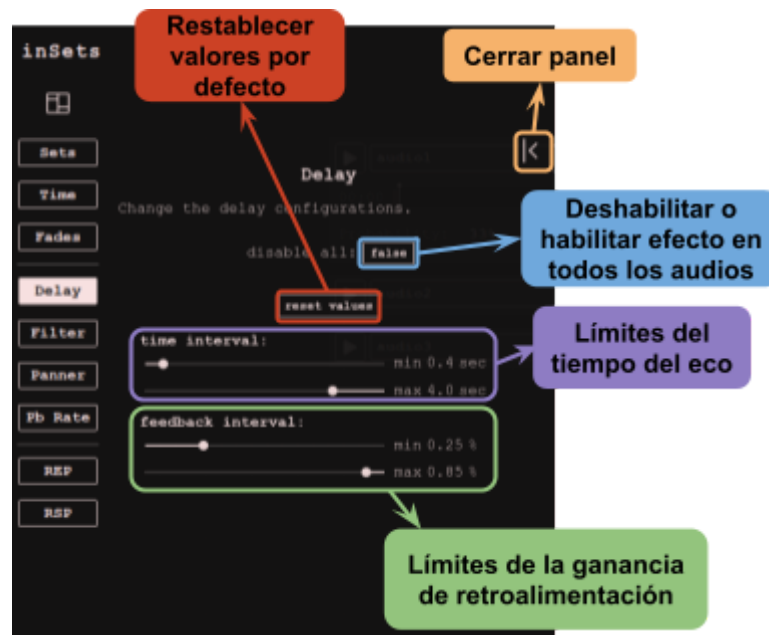


Figura B.5-5 Panel Filter.

En el panel “Panner” se pueden alterar las variables  $X_{min}$  y  $X_{max}$  mediante “ $X$  interval”, las variables  $Y_{min}$  y  $Y_{max}$  mediante “ $Y$  interval”, y las variables  $Z_{min}$  y  $Z_{max}$  mediante “ $Z$  interval” (ver [sección 4.4](#)). Este panel se muestra en la figura B.5-6.

En el panel “Pb Rate” representa el *playback rate*, es decir, la velocidad de muestreo. Se pueden alterar las variables  $PBR_{max}$  y  $PBR_{min}$  mediante “interval” (ver [sección 4.4](#)). Este panel se muestra en la figura B.5-7.

Los siguiente dos paneles REP y RSP solo tienen el botón de deshabilitar o habilitar el efecto para todos los audios.

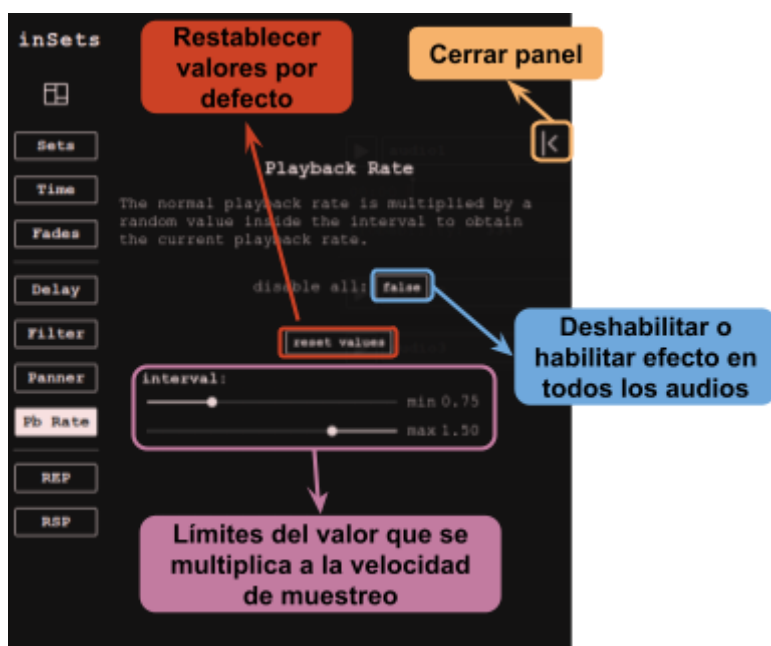


Figura B.5-6 Panel Panner.

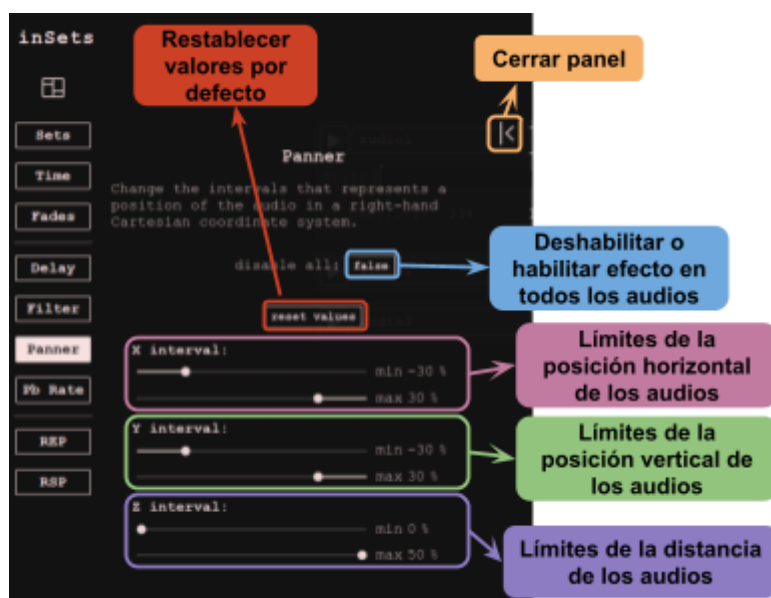


Figura B.5-7 Panel Pb Rate.



## REFERENCIAS

- Adenot, P. y Choi, H. (Ed.) (7 de noviembre de 2022). *Web Audio API*. Web Audio API.  
<https://webaudio.github.io/web-audio-api/>.
- Auner, J. (2017). *La música de los siglos XX y XXI*. Madrid, España: Akal.
- Brinde, R. S. (1996). *El movimiento avant-garde a partir de 1945*. Buenos Aires, Argentina: Ricordi Americana.
- Beck, K. D. (6 de septiembre 2022). *Back to the SalMar Construction*. Beck's Good Word.  
<https://www.ken-beck.com/words/2022/09/back-to-the-salmar-construction>.
- Caplin, W. E. (1998). *Classical Form*. Nueva York, EE.UU.: Oxford University Press.
- Cook, N. (1987). What does musical analysis tell us?. *A guide to Musical Analysis*, 215-233.  
 Nueva York, E.E.U.U: W. W. Norton & Company, Inc.
- Cope, D. (2000). Background. *The Algorithmic Composer*, 1-36. Winsconsin, E.E.U.U: A-R Editions.
- Chadabe, J. (22 Julio, 2019). *Music as emergence - CIRMMT Distinguished Lectures in the Science and Technology of Music*. [Video]. YouTube.  
[https://youtu.be/watch?v=zATg\\_yFCNpQ](https://youtu.be/watch?v=zATg_yFCNpQ).
- Chadabe, J. (1984). Interactive Composing: An Overview. *Computer Music Journal*, 8(1), 22-27. <https://doi.org/10.2307/3679894>.
- Chadabe, J., & Meyers, R. (1978). An Introduction to the Play Program. *Computer Music Journal*, 2(1), 12-18. <https://doi.org/10.2307/3680133>.

- Chadabe, J. (1977). Some Reflections on the Nature of the Landscape within Which Computer Music Systems are Designed. *Computer Music Journal*, 1(3), 5-11.  
<https://doi.org/10.2307/3679605>.
- Dodge C. y Jerse, T. A. (1997). *Computer music: synthesis, composition, and performance* (2da ed.). Nueva York, E.E.U.U.: Schirmer
- Eco, U. (1992). *Obra Abierta*. Buenos Aires, Argentina: Planeta Argentina.
- Eco, U. (1986). *La estructura ausente* (3ra ed.). Barcelona, España: Lumen.
- Eco, U. (1970). El problema de la obra abierta. *La definición del arte*, 157-164. Barcelona, España: Martínez Roca.
- Eco, U. (1970). Necesidad y posibilidad en las estructuras musicales. *La definición del arte*, 165-186. Barcelona, España: Martínez Roca.
- Essl, K. (2007). Algorithmic composition. Collins, N. y D'Esquivan, J. (Eds.), *The Cambridge Companion to Electronic Music*. Cambridge Companions to Music, 107-125.  
<https://doi.org/10.1017/CCOL9780521868617>.
- Feldman, M. (1963). *Intromission 6* [Partitura musical] C. F. Peters Corporation. (Obra original publicada en 1950).
- Galanter, P. (2008). Complexism and the Role of Evolutionary Art. Romero, J. y Machado, P. (Eds.) *The Art of Artificial Evolution*. Natural Computing Series, 311-332.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-540-72877-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-540-72877-1_15).
- Galanter, P. (2009). Thoughts on Computational Creativity. *Computational Creativity: An Interdisciplinary Approach*. <https://doi.org/10.4230/DagSemProc.09291.32>.
- Harley, J. (1995). Generative Processes in Algorithmic Composition: Chaos and Music. *Leonardo*, 28(3), 221-224. <https://doi.org/10.2307/1576078>.
- Hoffmann, P. (2009). *Music Out of Nothing? A Rigorous Approach to Algorithmic Composition by Iannis Xenakis* [Tesis doctoral, Universidad de Berlín]. DepositOnce.  
<https://doi.org/10.14279/depositonce-2292>.
- Kirkpatrick, L. D. y Francis, G. E. (2011). Energía disponible. *Física: Una mirada al mundo*, Sexta edición, 268-287. Santa Fe, Mexico: Cengage Learning.

- Khün, C. (2003). *Tratado de la forma musical*. Huelva, España: Idea books.
- Knuth, D. E. (1998). Random Numbers. *The Art of Computer Programming, vol. 2* (3ra ed.), 1-193. Boston, E.E.U.U.: Addison-Wesley.
- Magnusson, T. (2019) *Sonic Writing*. Nueva York, EE.UU.: Bloomsbury Academic.
- Manning, P. (2013). *Electronic and computer music*. Nueva York, E.E.U.U.: Oxford University Press.
- Martirano, D. (2018). *SAL-MAR*. Salvatore Martirano Official Website.  
<http://sal.martirano.net/salmar.html>.
- McCormack, J., Bown, O., Dorin, A., McCabe, J., Monro, G., & Whitelaw, M. (2014). Ten Questions Concerning Generative Computer Art. *Leonardo*, 47(2), 135-141.  
<http://www.jstor.org/stable/43834149>.
- MDN Contributors (27 de mayo de 2022). Javascript. *MDN Web Docs*.  
<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript>.
- MDN Contributors (10 de mayo de 2022). Web Audio API. *MDN Web Docs*.  
[https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web\\_Audio\\_API](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Audio_API).
- Meyer-Eppler, W (1968). The musical communication as a problem of information theory. *die Reihe n.8*, 7-10. Pennsylvania, EE.UU.: Theodore Presser Co.
- Morgan, R. P. (1999). *La música del siglo XX*. Madrid, España: Akal.
- Morin, P. (s.f.) *Open Data Structures (in pseudocode)*. <http://opendatastructures.org/>.
- Muscutt, K. y Cope, D. (2007). Composing with Algorithms: An Interview with David Cope. *Computer Music Journal*, 31(3), 10-22. <https://www.jstor.org/stable/40072590>.
- Nierhaus, G. (2009). *Algorithmic Composition*. <https://doi.org/10.1007/978-3-211-75540-2>.
- Pasquet, O. (2015). *Notes on Electronic Music Composition*.  
<https://www.opasquet.fr/notes-electronic-composition/>.
- Poblete Barbero, S. (2020). *Apunte de Cátedra Técnicas y Materiales Electroacústicos*. Facultad de Artes, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- Pousseur, H. (18 de febrero de 2005). *A Keynote Lectures by Professor Henri Pousseur*. The Scambi Project. <https://www.scambi.mdx.ac.uk/Documents/PousseurGoldsmiths.pdf>.
- Pousseur, H. (1959). Christine North (trad.) *Scambi – description of a work in progress*. <https://scambi.mdx.ac.uk/Documents/GravesanerTranslation.pdf>.
- Rane, D. B. (Enero 2008). *Bandwidth in Octaves Versus Q in Bandpass Filters*. RANE Commercial. <https://www.ranecommercial.com/legacy/note170.html>.
- Real Academia Española. (s.f.). Estructura. *Diccionario de la lengua española*. Recuperado el 19 de diciembre de 2022 de <https://dle.rae.es/estructura?m=form>.
- Real Academia Española. (s.f.). Generativo. *Diccionario de la lengua española*. Recuperado el 23 de diciembre de 2022 de <https://dle.rae.es/generativo?m=form>.
- Rosen, C. (1998). *Formas de Sonatas*. Florida, EE.UU.: SpanPress.
- Saitta, C. (1997). *Trampolines musicales*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Novedades Educativas.
- Schoenberg, A. (1970). *Fundamentals of musical composition*. Londres, Inglaterra: Faber and faber.
- Schwarz, K. (29 de diciembre 2011). *Darts, Dice, and Coins: Sampling from a Discrete Distribution*. KeithSchwarz. <https://keithschwarz.com/darts-dice-coins/>.
- Shannon, C. E. y Weaver, W. (1964). *The Mathematical Theory Of Communication*. Illinois, EE.UU.: The University of Illinois Press.
- Smith, B. (1987). *La Nueva Música*. Buenos Aires, Argentina: Ricordi Americana.
- Stanford Encyclopedia of Philosophy (9 de octubre de 2020). Decision Theory. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Recuperado el 10 de enero de 2023 de <https://plato.stanford.edu/entries/decision-theory/>.
- Stewart, J. (2018). *Cálculo*. Toluca, Mexico: Cengage Learning.
- Stockhausen, K. (1956). *Klavierstück XI* [Partitura musical]. Universal Edition.
- Truelove, S. (1998). The Translation of Rhythm into Pitch in Stockhausen's Klavierstück XI. *Perspectives of New Music*, 36(1), 189-220. <https://doi.org/10.2307/833580>.

Wackerly, D. D., Mendenhall III, W. y Schaffer, R. L. (2010). Romo Muñoz J. H. (Trad.)

*Estadística matemática con aplicaciones*. CDMX, México: Cengage Learning.

Weaver, W. (1949). The mathematics of communication. *Scientific American*, 181 (1), 11-15.

<http://www.jstor.org/stable/24967225>.

Wishart, T. (1996). *On Sonic Art*. Ámsterdam, Países Bajos: OPA.

Wordreference (s.f.). Generativo. *Diccionario de la lengua española*. Recuperado el 23 de

diciembre de 2022 de <https://www.wordreference.com/definicion/generativo>

Wordreference. (s.f.). Engendrar. *Diccionario de la lengua española*. Recuperado el 2 de enero

de 2023 de <https://www.wordreference.com/definicion/engendrar>.

Xenakis, I. (1992). *Formalized Music*. Stuyvesant, New York: Pendragon Press.

Young, M. (2016). Interactive and generative music: A quagmire for the musical analyst.

Emmerson, S. y Landy, L. (Eds.), *Expanding the Horizon of Electroacoustic Music*

*Analysis* (pp. 80-101). <https://doi.org/10.1017/CBO9781316339633.005>.