



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
FACULTAD DE ARTES
MAGÍSTER EN ARTES

**GENERACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MATERIAL SONORO
UTILIZANDO OBSERVADORES PARTICIPANTES EN SISTEMAS
COMPLEJOS VIRTUALES**

POR
JOAQUÍN IGNACIO IBAR SÁNCHEZ

Tesis presentada a la Facultad de Artes de la Pontificia Universidad Católica de Chile
para optar al grado académico de Magíster en Artes.

PROFESOR TUTOR:

Rodrigo F. Cádiz

PROFESOR CO-TUTOR

Patricio de la Cuadra Banderas

Marzo 2016

Santiago de Chile

©MMXVI, JOAQUÍN IGNACIO IBAR SÁNCHEZ

SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, CON FINES ACADÉMICOS, POR CUALQUIER MEDIO O PROCEDIMIENTO, INCLUYENDO LA CITA BIBLIOGRÁFICA QUE ACREDITA AL TRABAJO Y A SU AUTOR.

Agradecimientos

A mi mujer, Mariela, mi compañera incondicional, fuente constante de inspiración y amor.

A mis maestros, Rodrigo Cádiz y Patricio de la Cuadra, por su paciencia, voluntad y generosidad a toda prueba.

A mis amigos, en especial a Tomás Loyola, Lía Villalobos y Raúl Muñoz.

A mis padres. A mis suegros. A mis hermanos y a toda mi amada familia.

Mis agradecimientos también a CONICYT.

Resumen

Los sistemas complejos virtuales, son algoritmos computacionales capaces de recrear el comportamiento de bandadas, cardúmenes, enjambres, manadas y otros sistemas complejos presentes en la naturaleza. Han servido de inspiración y aporte técnico para la realización de proyectos e investigaciones que mediante diversas estrategias de sonificación, han convertido su dinámica en material sonoro.

En el presente trabajo incorporamos al proceso de generación de material sonoro a partir de sistemas complejos virtuales, una nueva estrategia: el uso de un observador participante.

Junto a una revisión filosófico-conceptual sobre las implicancias del observador y la observación, indagamos e identificamos referentes que advierten la importancia y futuro de esta rama de desarrollo, tanto técnicamente como conceptualmente.

Finalmente, presentamos una propuesta para el uso de un observador participante en el proceso de generación y procesamiento de material sonoro a partir de la dinámica de un sistema complejo virtual. Explicamos los aspectos técnicos de su implementación y describimos y comentamos dos experiencias con base en nuestra propuesta, un experimento sonoro y la creación de una obra musical.

Tabla de contenidos

Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Tabla de contenidos	iv
1.- Introducción	1
1.1.- Objetivo general.....	2
1.2.- Objetivos específicos	3
2.- Sistemas complejos y sistemas complejos virtuales	3
2.1.- Sistemas complejos.....	3
2.2.- Sistemas Complejos Virtuales	6
3.- El observador	10
3.1.- Sistema-Observador.....	10
3.2.- Rol del observador	11
3.3.- Observadores de sistemas complejos virtuales.....	12
3.4.- Observador participante.....	15
4.- Observadores en el proceso de generación de material sonoro a partir del comportamiento de sistemas complejos virtuales.	16
5.- Implementación de una aplicación computacional para la generación y procesamiento de material sonoro utilizando un observador participante en un sistema complejo virtual.	20
5.1.- Módulo 1, administrador del sistema complejo virtual.	21
5.2.- Módulo 2, generador de material sonoro.	24

5.3.- Módulo 3, procesador de material sonoro utilizando un observador participante.	25
.....
5.3.1.- Modulador de amplitud basado en el observador participante.	25
5.3.2.- Efecto Doppler, desde la perspectiva del observador participante.	25
5.3.3.- Espacializador, basado en la experiencia del observador participante.	26
6.- Dos experiencias sonoras utilizando un observador participante en un sistema complejo virtual.....	26
6.1.- Experimento: Comparación entre el material sonoro generado a partir de la dinámica de un sistema complejo virtual, con y sin el uso de un observador participante.....	27
6.1.1.- Descripción	27
6.1.2.- Observaciones y comentarios.	30
6.2.- Creación de una obra musical utilizando un observador participante en un sistema complejo virtual.	30
7.- Conclusiones.....	32
7.1.- Panorama actual.....	32
7.2.- Proyecciones	33
8.- Referencias bibliográficas	34
9.- Anexo: Detalles de los tracks de audio generados en el experimento (cap. 6.1)..	37

1.- Introducción

Bandadas, cardúmenes, enjambres, manadas, los sistemas complejos son sistemas con muchas partes, que interactúan entre sí y con el entorno por una multiplicidad de canales, tienden a auto organizarse localmente de forma espontánea, y de maneras difícilmente predecibles (Waissbluth, 2008). Con facilidad nos sorprenden con su comportamiento lleno de misteriosa belleza.

Hace más de veinticinco años, un experto en gráficos computacionales y vida artificial, propuso un modelo de un sistema complejo virtual, que emula la relación, durante el vuelo, de una bandada de “pájaros” a los que llamó *boids* (Reynolds, 1987). La aplicación de sus *boids* revolucionó el mundo de la gráfica por computadora, logrando efectos visuales inéditos, aplicados luego en numerosas producciones cinematográficas y obras de artes mediales considerándose hasta la actualidad como un modelo muy influyente (Kennedy & Eberhart, 2001), despertando la curiosidad del medio artístico por estos sistemas.

El uso de estos modelos no se limitó a las gráficas por computadora, y hoy en día existen variadas implementaciones de estos sistemas con la finalidad de generar y procesar material sonoro. *Swarmusic* (Blackwell & Bentley, 2002), *Breve* (Spector & Klein, 2002), *Brainswarm* (Hadjileontiadis, 2014), *SwarmLab* (Davis, 2011), entre otras serán analizadas en este trabajo, en búsqueda de una variable no muy comentada: el tipo de observador utilizado.

Se abordarán en este trabajo las principales características de un sistema complejo y un sistema complejo virtual. Luego se hará una revisión de las principales propuestas e implementaciones en el campo de la generación de material sonoro a partir de la dinámica de sistemas complejos, indagando en qué tipo de observador fue usado en su diseño.

Posteriormente propondremos la implementación genérica de un observador participante, en el proceso de generación de material sonoro a partir del comportamiento

de sistemas complejos virtuales, para reconocer el valor que podría aportar su uso en este campo de estudio.

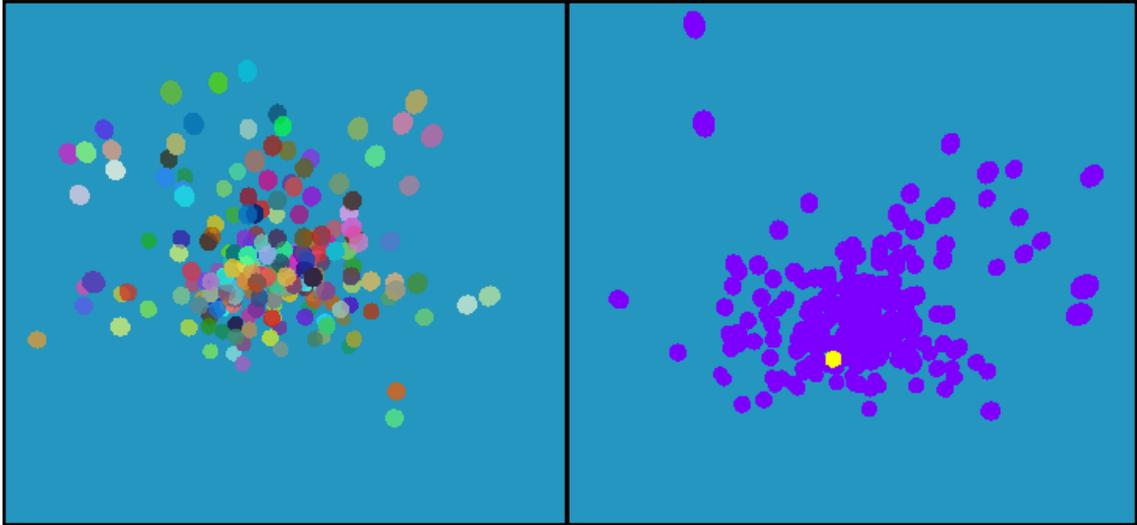


Figura 1: A la izquierda, un sistema complejo virtual, en el que cada circunferencia de color representa un agente o integrante del enjambre. Todos los agentes se rigen por las mismas reglas de comportamiento y tienen la misma funcionalidad. A la derecha, un enjambre virtual con un observador participante. Las circunferencias de color lila representan al grupo de agentes con la misma funcionalidad y comportamiento, la circunferencia de color amarillo representa al observador participante, agente que comparte las mismas reglas de comportamiento que el resto de los agentes, pero que tiene la exclusiva funcionalidad de informar sobre la dinámica del enjambre desde su perspectiva particular.

1.1.- Objetivo general

Diseñar e implementar una estrategia de generación y procesamiento de material sonoro a partir de la dinámica de sistemas complejos virtuales, utilizando un observador participante.

1.2.- Objetivos específicos

- a) Identificar la importancia del “observador”, dentro de un sistema complejo.
- b) Diseñar e implementar un prototipo de aplicación computacional dedicada a la generación y procesamiento de material sonoro a partir de la dinámica de sistemas complejos virtuales, que incorpore el uso de un observador participante.
- c) Diseñar, implementar y documentar experimentos que permitan poner en valor la relevancia de un observador participante en la generación y procesamiento de material sonoro, a partir de sistemas complejos virtuales.

2.- Sistemas complejos y sistemas complejos virtuales

2.1.- Sistemas complejos

Colonias de insectos, el cerebro, el sistema inmune, las economías, la World Wide Web, son sistemas complejos (Mitchell, 2009, págs. 3-12). También lo son un sistema educativo, una gaviota, el clima global, el parlamento, el sistema de transportes de una ciudad, o una empresa (Waissbluth, 2008).

Algunas denominaciones usuales para referirse a diversos sistemas complejos son: enjambre, manada y rebaño¹. En este trabajo se usarán todos los anteriores términos como homólogos.

El comportamiento colectivo complejo es una de las características de estos sistemas, y se forma gracias a grandes redes de componentes individuales, cada uno de ellos siguiendo una serie de reglas relativamente simples, sin control central o líder, pero puestas en juego por un gran número de componentes dan lugar a lo complejo, a lo

¹ En inglés *swarm*, *herd* y *flock*

difícil de predecir y a fascinantes cambios en los patrones de comportamiento (Mitchell, 2009).

Para entender el comportamiento de un sistema complejo, debemos atender a la interdependencia de sus componentes, con la claridad que se requiere mucho más que la capacidad analítica que despieza un problema en sus partes, las analiza separadamente y luego busca una explicación global. Al despiezar los componentes, se pierde la mayor parte de la información relevante, contenida en las interacciones (Waissbluth, 2008). Un sistema con pocas partes pero múltiples vías de interacción puede ser más complejo que un sistema con muchísimas partes e interacciones secuenciales en una sola dirección (Reynoso, 2006, pág. 116). Por otra parte, “un gran número de elementos es necesario, pero no suficiente. Los granos de arena en una playa no son un sistema complejo, pues deben actuar de manera dinámica, no estática” (Waissbluth, 2008). Sintetizando, un sistema complejo es interactivo entre sus partes y también dinámico.

El intercambio de información también es considerada una interacción tan dinámica como las interacciones físicas. Estos sistemas producen y utilizan la información y las señales tanto de sus ambientes internos como externos, se adaptan, es decir, cambian su comportamiento para mejorar sus posibilidades de supervivencia o el éxito a través del aprendizaje o de los procesos evolutivos (Mitchell, 2009).

¿En qué se diferencia un sistema complejo de otros tipos de sistemas?; una cuchara, ejemplifica Waissbluth (2008), es un sistema simple y muy predecible. Su funcionalidad implica mínimas acciones y pocos elementos constitutivos que no suponen mayores alteraciones a la totalidad. Un computador, o un vehículo son ejemplos de “sistemas complicados”, pues a pesar de tener múltiples partes interconectadas entre sí, son sistemas altamente predecibles, pues dichas partes no toman decisiones de manera autónoma ni se auto-organizan en conjunto. Un sistema complejo, en cambio, supone un entramado de relaciones entre un gran número de elementos que podrían incluso convertir en forma radical al conjunto de forma aparentemente espontánea y autónoma.

Los sistemas complejos, entonces, requieren de pluralidad, pero también de actividad y autonomía. Las interacciones no son “uno a uno”, sino que múltiples. Cada elemento influye y es influenciado por muchos otros, tienen respuestas no-lineales (la duplicación de un estímulo no significa necesariamente la duplicación de la respuesta) y con feedback o recurrencia (directo o indirecto), es por esto que “pequeñas modificaciones en una parte pueden en ocasiones detonar grandes cambios en el sistema” (Cilliers, 1998, citado en Waissbluth, 2008).

En los sistemas complejos las interacciones entre los agentes generalmente son de corto alcance, la información “trasmitida” la reciben primariamente los vecinos inmediatos, aunque las influencias pueden ser de largo alcance, mediante “encadenamientos”, modulándose, amplificándose, reduciéndose, modificándose o eliminándose en el camino de diversas maneras (Cilliers, 1998, citado en Waissbluth, 2008).

Otra característica es que los sistemas complejos son “abiertos”, esto es, interactúan con su entorno; operan en condiciones lejanas al equilibrio. Aun si están en estado “estable”, es una estabilidad dinámica, y pueden cambiar rápidamente. Evolucionan en el tiempo, tienen una historia, y esa historia influye en su conducta presente (Cilliers, 1998, citado en Waissbluth, 2008), también exhiben irreversibilidades (Waissbluth, 2008).

En síntesis, los sistemas complejos son entidades dinámicas de múltiples agentes interrelacionados entre sí, ignorantes de la conducta del sistema como un todo (Waissbluth, 2008), de cuya interacción emergen propiedades difíciles de prever en la observación de alguno de los agentes separado de su sistema (Kennedy & Eberhart, 2001).

2.2.- Sistemas Complejos Virtuales

El modelado computacional de sistemas complejos es un área en constante desarrollo, que ha crecido de la mano de la capacidad de proceso de las nuevas generaciones de computadores. Se encuentra altamente ligado al desarrollo de vida artificial o inteligencia artificial (Lahoz-Beltrá, 2010).

Mediante estas herramientas virtuales podemos, a pesar de ser en gran medida simplificadoras o distorsionadoras de lo real, como cualquier otra forma científica o interpretativa (Reynoso, 2006, pág. 125), nos permiten abordar toda una gama de cuestiones relevantes para las teorías de la complejidad.

Existen múltiples modelos y herramientas para la experimentación virtual de sistemas complejos (Reynold, 1987; Vicsek, Czirók, Ben-Jacob, Cohen, & Shochet, 1995; Kennedy, 2001, págs. 26-32; Railsback, Lytinen y Jackson, 2006; Reynoso, 2006, págs. 125-125; Mitchell, 2009, págs. 56-70; Botti, Garcia-Fornés, Pechoucek, Ricci, Such y Weyns, 2011). Mas, en el presente documento utilizaremos como principal referente de modelo computacional el propuesto por Reynolds (1987); llamado *Boids*, uno de los modelos más utilizados y documentados tanto en contextos académicos como artísticos.

Las principales reglas que definen el comportamiento de los agentes en el modelo básico de Reynolds, son de relativa simpleza:

Separación: Evitar el hacinamiento con compañeros de bandada local o agentes “vecinos”.

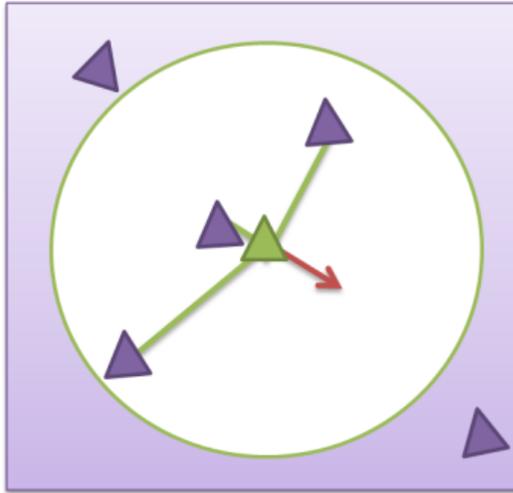


Figura 2: Vemos en el centro de la imagen a un agente, en verde, ponderando las distancias de los agentes que lo rodean, representados en color lila, dentro de un rango de percepción alrededor de él (la circunferencia blanca, con bordes en verde) y determinando que debe alejarse de un agente que se encuentra muy cerca. Imagen basada en “*separation.gif*”, disponible en <http://www.red3d.com/cwr/boids/>

Alineación: dirigirse hacia la dirección promedio de los compañeros de bandada locales.

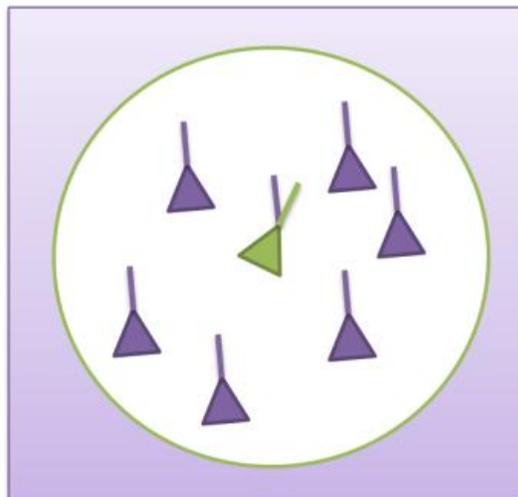


Figura 3: Vemos en el centro de la imagen a un agente, en verde, ponderando las direcciones de los agentes que lo rodean, representados en color lila, dentro de un rango de percepción alrededor de él (la circunferencia blanca, con bordes en verde) y determinando que debe rotar unos grados en contra del sentido del reloj, para alinearse con sus compañeros de bandada local. Imagen basada en “*alignment.gif*”, disponible en <http://www.red3d.com/cwr/boids/>

Cohesión: Moverse hacia la posición media de los compañeros de bandada locales.

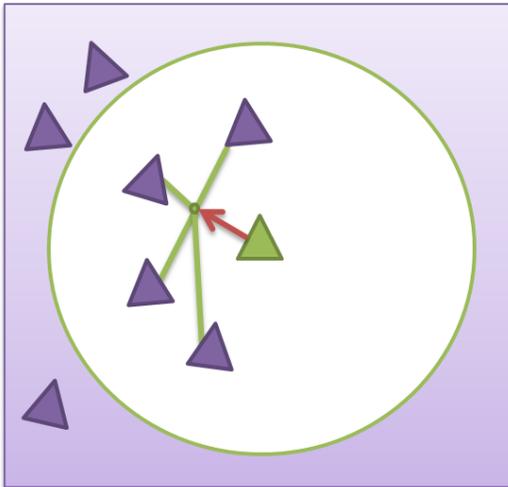


Figura 4: Vemos en el centro de la imagen a un agente, en verde, ponderando la posición media, entre los agentes que lo rodean, representados en color lila, dentro de un rango de percepción alrededor de él (la circunferencia blanca, con bordes en verde) y determinando que debe acercarse a dicho punto. Imagen basada en “*cohesion.gif*”, disponible en <http://www.red3d.com/cwr/boids/>

Cada agente tiene acceso directo a la descripción geométrica de toda la escena (en caso de haber límites, obstáculos u objetivos a seguir o evitar) (ver Fig. 5), pero en

términos básicos, sólo reacciona a la información que capta de sus compañeros dentro de una pequeña región de interés o barrio alrededor de sí mismo (ver Fig. 6). Este barrio se caracteriza por una distancia medida desde el centro del *bird* y un ángulo, medido desde la dirección de vuelo del mismo. Se ignoran compañeros de bandada fuera de este barrio. El barrio se puede considerar un modelo de percepción limitada, pero es probable que sea más correcto pensar en ella como la definición de la región en la que compañeros de bandada influyen una dirección a seguir. Los *birds* se mueven siempre “hacia adelante” pero pueden girar dentro de un ángulo y velocidad definibles por el animador (Reynolds, 1987).

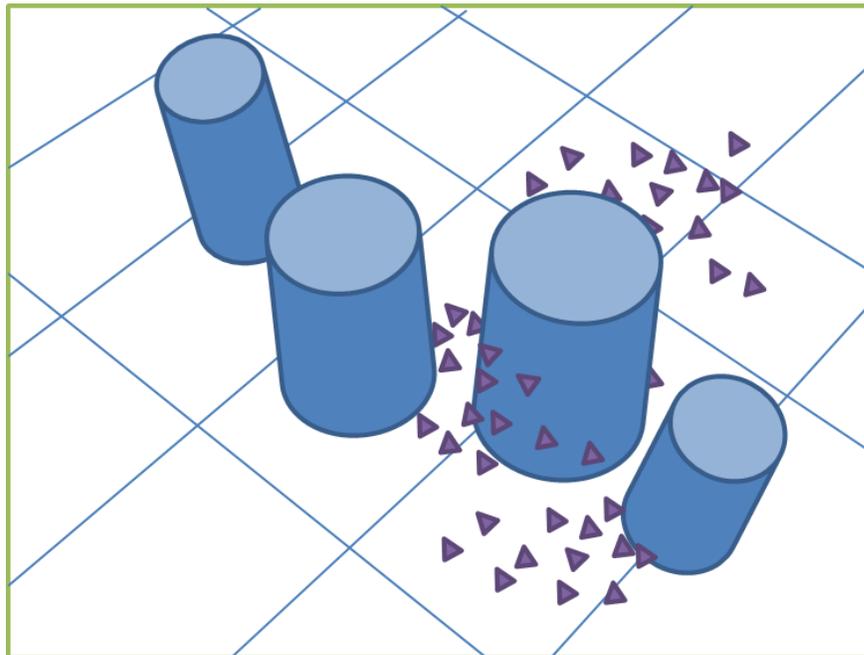


Figura 5: En lila, un grupo de agentes esquivando un conjunto de obstáculos cilíndricos, en azul, en un espacio virtual de tres dimensiones. Imagen basada en “flocking_around_19.gif”, disponible en <http://www.red3d.com/cwr/boids/>

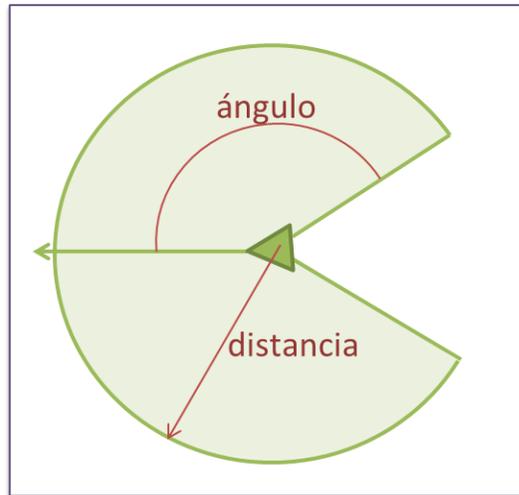


Figura 6: Al centro, en verde, un agente, dirigiéndose a la izquierda de la imagen, a su alrededor, en gris con margen verde, su rango de percepción, con ángulo y distancia configurables por el animador. Imagen basada en “neighborhood.gif”, disponible en <http://www.red3d.com/cwr/boids/>

3.- El observador

“El mundo es un espejo que refleja la imagen del observador.”

William Makepeace Thackeray

3.1.- Sistema-Observador

La relación entre sistema y observador es estrecha. “La noción de sistema se diluye en la noción del observador, de la misma manera como la noción del observador se diluye a su vez en la noción de sistema” (Echeverría R. , 1997, pág. 141).

Más aún, “la noción de sistema da cuenta de una «forma» particular de observar la realidad y, por lo tanto, de conferirle sentido” (Echeverría R. , 1997, pág. 141). No puede haber un sistema independiente de un observador, el «sistema» es una manera de observar, una forma de interpretación del mundo (Echeverría R. , 1997, pág. 142).

No existe ningún método verificable para establecer afirmaciones independientes del observador, aunque no seamos conscientes de este observador, o “cuya existencia uno a lo mejor da por sentada”(Maturana & Pörksen, 2004, pág. 17) y no conozcamos las implicancias de su tipo de observación.

La realidad siempre está siendo narrada por algún observador, “todo lo que es dicho, es dicho por un observador” (Maturana y Varela 1980: xix, citados en Reynoso, 2006, Pág. 75). Lo dicho no puede ser separado del que lo dice, ni garantizar que lo dicho funcione con independencia del que lo dice, “nadie puede reclamar un acceso privilegiado a una verdad o realidad externa” (Maturana & Pörksen, 2004, pág. 17), no podemos acceder a la “realidad” de un sistema si no es a través de una entidad con la capacidad de observar, de tal forma que separar sistema y observador parece infructuoso. Sin embargo podemos, o no, hacernos conscientes del tipo de observador que utilizamos para dar cuenta de un sistema. “No sabemos cómo las cosas son. Sólo sabemos cómo las observamos o cómo las interpretamos. Vivimos en mundos interpretativos” (Echeverría R. , 2005, pág. 25). La propuesta de este trabajo, en primer término, es hacernos conscientes de las formas de observación que hemos utilizado y las que podríamos llegar a utilizar.

3.2.- Rol del observador

En un contexto investigativo el tipo de observador utilizado juega un rol crítico, pues una explicación científica consiste en la proposición de un mecanismo, “en la experiencia de un observador” (Maturana, 1996, pág. 157).

El observador es el instrumento de investigación y a la vez es el objetivo de la investigación (Maturana & Pörksen, 2004, págs. 17-18), “se trata de la manera como interpretamos la situación que enfrentamos” (Echeverría R. , 2009, pág. 27), a su vez, las medidas que tomamos para abordar la situación dependen de dichas interpretaciones, lo que condiciona nuestro actuar, pues, “a partir de una determinada interpretación, emerge un conjunto de acciones posibles, pero simultáneamente se excluyen otras” (Echeverría R. , 2009, pág. 27.)

Plantean con elocuencia Maturana y Pörksen (2004, pág. 18) “El observador es la fuente de todo. Sin él no hay nada. Es el fundamento del conocer”, es un mediador imposible de saltar, no tenemos acceso a ninguna información si no es a través de él, “es la base de cualquier hipótesis acerca de sí mismo, el mundo y el cosmos”

3.3.- Observadores de sistemas complejos virtuales

Qué datos tomamos en cuenta y cómo los tomamos en cuenta son asuntos que definen a nuestro observador y su posibilidad de alcance o rango de observación dentro de un sistema.

Es una condición tremendamente deseable, a la hora de modelar o trabajar con un sistema modelado, el que podamos acceder a toda la información de sus variables. Ahora, entre las principales propiedades de los sistemas complejos, nos encontramos con una que dificulta nuestro empeño en esta intención, pero que a su vez configura una de las características más llamativas de los sistemas complejos, estas son “las emergencias”, la capacidad de exhibir propiedades que en un momento inicial no son previsibles pero pueden llegar a ser las características definitorias de un sistema dinámico (Kennedy & Eberhart, 2001). Las emergencias incrementan el número de variables de forma no previsible, y si producto de esto el número de elementos a considerar es suficientemente grande, es difícil que los mecanismos analíticos de

modelamiento permitan una predicción de su comportamiento (Waissbluth, 2008, pág. 4).

Nos encontramos entonces con sonificaciones/observaciones de las variables (principalmente espaciales) de sistemas complejos, con diseños variados, con la intención y, en varios casos, con la capacidad de captar en gran medida la naturaleza dinámica del sistema, incluyendo claro está, sus emergencias (Davis & Rebelo, 2005). A continuación describiremos algunas.

Buena parte de las estrategias usadas en el campo de la generación de material sonoro a partir de la dinámica de sistemas complejos, hacen lo posible por captar/observar la naturaleza de enjambre en su (aparente) completitud, a través de la captura de todas las variables de estado directas de todos los agentes de dicho sistema, considerándolos como individuos, este tipo de captura y sonificación basados en la transducción directa de los parámetros de cada agente se le denomina *The Direct Approach* (Huepe, Colasso, & Cádiz, 2014) o *Direct Parameter Mapping* (Schacher, Bisig, & Kocher, 2014).

Otras alternativas se han empeñado en la captura de las emergencias, con enfoques algo más intrincados que los directos, aunque sabemos que por definición no se puede garantizar la captura de las variables emergentes del sistema, pues no son previsibles, éstos son enfoques que, mediante la interconexión entre agentes, aumentan los canales de transferencia de datos, generan/observan nuevas variables de control que podemos sonificar, promoviendo en algunos casos dinámicas sonoras emergentes, proveyendo de mecanismos de asignación que aprovechan las características sintácticamente poderosas pero perceptualmente indeterminadas de una simulación (Schacher, Bisig, & Kocher, 2014). Entre estos enfoques “no directos” podemos destacar *The Coupled Oscillators Approach* (Huepe, Colasso, & Cádiz, 2014) que se puede conseguir mediante la asociación de las variables de un agente con respecto a otro, estrategia muy interesante desde el punto de vista del “observador” utilizado, pues lo que percibimos de un agente, está filtrado por su dinámica con otro agente, situándolo

como una especie de observador. Otro concepto interesante en la búsqueda de “captar” las emergencias es el de *Procedural mapping* (Schacher, Bisig, & Kocher, 2014) que propone el capturar la dinámica de la totalidad del enjambre, como una unidad, no sólo de la totalidad de los agentes de forma individual. Otra forma de observación/transducción de los datos de un sistema complejo virtual es el “mapeo conceptual” (Schacher, Bisig, & Kocher, 2014) o metafórico (Davis & Rebelo, 2005) en el que los eventos que ocurren en el dominio de la simulación del sistema complejo no tienen relación directa con los eventos perceptivos finales, su mecanismo vinculator responde a propuestas conceptuales o metafóricas, que pretenden dar cuenta, de forma intuitiva, de cómo se podría percibir un evento para el que no hay claridad perceptiva. Este enfoque permite el abordaje de las emergencias con bastante soltura creativa. Más tarde declararían que la definición epistemológica de estos eventos, depende del observador, denominando este concepto como “emergencias respecto a un observador” (Davis, 2010).

Intuimos que la incorporación de un observador divergente podría dar nuevas luces sobre este asunto, considerándolo un nicho investigativo relevante.

En este trabajo abordaremos el problema del observador de sistemas complejos en la generación de material sonoro, aportando con una alternativa de observación conscientemente “distinta” a las más usadas, en el entendido que simplemente cambiando conscientemente el tipo de observador, podremos visibilizar, desde otro punto el lugar desde donde observábamos, el “punto ciego en nuestra capacidad de observación”, precisamente, por estar parados en él (Echeverría R. , 2009, págs. 27-28). Al no observar dicho lugar, el observador no percibe que todas sus observaciones están dirigidas desde ahí, esto genera en el observador una mirada, no sólo inocente, sino distorsionada (Echeverría R. , 2009, pág. 28).

3.4.- Observador participante

En la búsqueda de “nuevos observadores” para aplicar en el contexto de la generación de sonido a partir de sistemas complejos, consideramos una alternativa ampliamente documentada en el campo de las ciencias sociales: “El observador Participante”.

Nos llamó la atención la capacidad de integrarse al sistema de forma natural para el resto de los agentes (Adorno, 2001, pág. 106), no interfiriendo (o interfiriendo muy poco) la dinámica del sistema modelado. La observación participante es útil para profundizar en el conocimiento de los contextos “físicos” y las relaciones entre agentes, eventos y los comportamientos y sus actividades de los agentes – “lo que hacen, con qué frecuencia, y con quién” (Mack, Woodson, MacQueen, Guest, & Namey, 2005, pág. 14). Consideramos casi lúdica esta posibilidad de estar “ocultos” (Adorno, 2001, pág. 106) dentro del grupo o enjambre. Algo así como un agente secreto informante.

Entre los pasos de la observación participante (Mack, Woodson, MacQueen, Guest, & Namey, 2005, pág. 27) que consideramos oportunos de adaptar a nuestro objeto de estudio destacamos a) Determinar con claridad la población a observar, adaptado como el tamaño del vecindario a considerar por el observador o la cantidad de agentes a incluir dentro de dicho vecindario. b) Determinar el propósito de la observación participante, adaptando a qué información en concreto vamos a captar de las relaciones entre los agentes del vecindario y nuestro observador. c) Tener en cuenta la accesibilidad de la población o poblaciones y los lugares en los que le gustaría observar, adaptado a, tener en consideración este tipo de observador cuando estemos configurando nuestro sistema complejo virtual. d) Investigar los posibles sitios para la observación participante, teniendo en consideración que este tipo de observador puede no ser relevante en todos los modelos de sistemas complejos virtuales, como tampoco a todos los procesos de sonificación de los datos recuperados.

Nuestro observador participante virtual, sería algo así como un agente acoplado a todos los demás agentes, que genere datos de control basado en su relación con otro(s). Desarrollaremos en este trabajo, acoplar la distancia, la velocidad y ubicación entre el observador y sus vecinos locales.

4.- Observadores en el proceso de generación de material sonoro a partir del comportamiento de sistemas complejos virtuales.

A continuación haremos un recorrido indagando principalmente en qué tipo de observadores se han utilizado en la generación de material sonoro, a partir de sistemas complejos; cabe destacar que este dato no es explícito en los términos tratados en este documento, requiriendo, por parte del lector cierta soltura en la comprensión de la naturaleza del problema para participar de la interpretación.

La primera aplicación en utilizar la dinámica de un enjambre para crear música fue, según declaran sus creadores, *Swarmusic* (Blackwell & Bentley, 2002). En ella se explora la generación de material sonoro mediante el mapeo de las posiciones espaciales de cada uno de los *Boids* (Reynolds, 1987) del sistema a eventos *Midi*. La dinámica del enjambre está condicionada por “objetivos” (posteriormente denominados atractores) capturados de eventos externos. El mapeo de las tres dimensiones equivale a la altura, la sonoridad y el pulso de los mensajes *Midi*. El tipo de enfoque es “directo” (Huepe, Colasso, & Cádiz, 2014), y busca observar la dinámica de todo el enjambre de forma simultánea, pero tratando el asunto, de alguna forma, como una suma de piezas a sonificar.

Breve (Spector & Klein, 2002) es una aplicación que tiene un *input* sonoro musical que induce “objetivos” al grupo de enjambres (trabaja con tres grupos de *Boids* de manera simultánea). Los agentes controlan sonidos generados por instrumentos virtuales. Coincidentemente con el “enfoque directo” que utilizan, el tipo de observación trata de capturar la dinámica de todos los agentes de forma simultánea.

En la aplicación *Swargrulator* (Blackwell & Young, 2004), los autores señalan la importancia de la interacción recursiva al contar con un *input* humano a tiempo real (importancia del *feedback*). Introducen el concepto de “atractor” para reemplazar al de “objetivo” (*target*), en el proceso de interacción entre el *input* humano y la dinámica de los *boids*. En el mapeo las posiciones manipulan propiedades de un sintetizador granular. En una revisión posterior (Blackwell T. , 2007) integran a su trabajo el concepto de emergencia, principalmente a través de un “mapeo conceptual” (Schacher, Bisig, & Kocher, 2014).

Encontramos un caso interesante en Davis y Rebelo (2005); ellos proponen dos modelos no lineales de representación gráfica mediante el mapeo de “metáforas” de emergencias en interacciones sonoras basado en una especie de modelo acoplado. En su caso el objetivo es la transducción de las emergencias del dominio sónico, al dominio visual. Aun así, nos quedamos con una idea poderosa propuesta por ellos: un replanteamiento del proceso, considerando al observador como centro del asunto, es esencial para hacer frente a la posibilidad de la emergencia como construcción sonora.

En esta línea de propuestas de empleo de metáforas sonoras encontramos también el caso, más actual, de mapeo de *The Physical Friction Approach* (Huepe, Colasso, & Cádiz, 2014), basado en la asociación intuitiva (metafórica) entre el dominio de la dinámica del enjambre, oscilante entre “orden y desorden” y una interpretación de cómo podrían sonar tales manifestaciones.

En el siguiente caso (Unemi & Bisig, 2005) se captura el movimiento humano mediante una cámara y se utiliza esa información para dirigir enjambres, luego cada agente controla eventos en un instrumento MIDI, utilizando nuevamente un observador general de los agentes del sistema, en un enfoque directo. Una línea de desarrollo similar, pero con un mayor grado de sofisticación desde lo técnico y lo conceptual podemos destacar *Brainswarm* (Hadjileontiadis, 2014) quien además de actualizar un *input* vía cámara con las tecnologías actuales, incorpora también el uso de un artefacto

llamado *EEGEmotive*, capaz de leer ondas cerebrales, pudiendo utilizar esta información como variables de control de parámetros del enjambre.

Encontramos en el siguiente caso, en alguna medida, un observador distinto a través de la espacialización sonora de un sistema de partículas (Kim-Boyle, 2005) utilizando síntesis granular; El auditor se integra al *swarm* a través de un sistema de espacialización, pero con reglas no determinadas por el enjambre, y con características más bien estáticas. Algo así como un observador interno, que reporta información desde adentro del sistema, pero de forma “pasiva” pues no interactúa con el enjambre. Conceptos homologables (con actualizaciones menores) encontramos en Wilson (2008) y en Codognet y Pasquet (2009).

Encontramos también una implementación notable de esta idea de una especie de “observador pasivo” (descrita en el párrafo anterior) en el trabajo de Nuno Fonseca (2015) quien ha desarrollado incluso un software comercial con este concepto (Fonseca, Sound Particles), con el que resultaron ganadores de un *Emmy* para la mejor edición de sonido para series en el 2014, y fueron nominado nuevamente el 2015 (Lehane).

Encontramos más observadores de sistema de “enfoques directos” en Davis y Karamanlis (2007), donde presentan un controlador alternativo diseñado para manipular un enjambre sonoro en un espacio de tres dimensiones y discute las cuestiones compositivas que surjan de su uso.

Recurrentes son los conceptos emergencia y observador en el análisis de *Cross-Pollination* (Davis, 2010), una obra que si bien no está diseñada para sistemas complejos virtuales, está constituida sobre la teorías de la complejidad y está compuesta a partir de la noción de estructuras emergentes que dependen de un observador y ha relacionado éste a una comprensión de las estructuras musicales como subjetivas y que pueden o no ser oportunas en lugar de entenderlas como objetos fijos para la observación empírica.

En *SwarmLab* (Davis, 2011) el objetivo fue diseñar un enjambre controlable por el usuario, con partículas generadoras de sonido que permitieran escuchar algunas de las propiedades relevantes del enjambre, como su posición en el espacio, la dirección en la

que apunta, o la estrechez de su movimiento colectivo. El mapeo aún está edificado sobre una observación de “enfoque directo”.

En la implementación *Interactive Swarm Orchestra* (Bisig, Neukom, & Flury, 2007) se capturan posiciones humanas en el espacio mediante cámaras convencionales y 3D para manipular la dinámica de un enjambre virtual que controla sintetizadores que suenan en posicionamiento 3D basado en *Ambisonic*. En la práctica se emula la experiencia de una especie de “observador participante”, aunque no con las mismas reglas de interacción que las del resto de los agentes del enjambre modelado.

Tres obras audiovisuales basadas en agentes son analizadas por Bisig y su equipo (Schacher, Bisig, & Neukom, 2011), destacando entre las técnicas expuestas el uso de múltiples *swarms* interdependientes en un mismo espacio, cada *swarm* con un set de configuraciones variadas, incluyendo además de las configuraciones usuales, “posiciones preferidas”, “dirección preferida”, “velocidad preferida”, “fuerza magnética”, “distancia magnética”, “fuerza de resorte” e interconectado de atractores entre enjambres.

En la composición musical colectiva que se va creando en la plataforma de juego *Swarm Lake* de Kaliakatsos-Papakostas et al. (2014), diferentes enjambres se encuentran en un espacio virtual en el que deben competir para sobrevivir. En este caso se emplea tanto el “enfoque directo”, como un “enfoque acoplado” (Huepe, Colasso, & Cádiz, 2014), como también «*Procedural mapping*» (Schacher, Bisig, & Kocher, 2014). Cada enjambre tiene asignados un número reducido de instrumentos virtuales los que son manipulados desde la dinámica del enjambre completo. El tipo de sonificación usado en cada *swarm* es diferente a los otros, con la finalidad de darle una identidad sonora a cada grupo. También son sonificados los eventos globales, como cuando el sistema provee de alimentos al lago, dando la posibilidad de supervivencia de los agentes.

Encontramos, en los trabajos revisados, diversas formas de observación, englobadas entre el “enfoque directo” que capta/observa y sonifica la mayor parte de las principales variables de los agentes, el “enfoque acoplado” que crea/observa nuevas

variables a partir de la relación entre agentes, y el “*procedural mapping*” capturando/observando gestos de la totalidad del enjambre, como unidad, para luego darle un uso sonoro. No encontramos el uso de un “observador participante” como tal, a pesar de sí encontrar implementaciones técnica y conceptualmente cercanas, pero con el uso de “observadores estáticos” o con posibilidad de movimiento guiada, pero no determinada por las reglas válidas para el resto de los agentes del enjambre.

Dado el éxito, incluso comercial, que han tenido las implementaciones mencionadas, con conceptos similares, que incorporan el uso de un observador (pero de forma estática) consideramos oportuno el desarrollo y testeo de una Aplicación computacional para el uso de un observador participante como mediador, dentro del proceso de generación y procesamiento de audio a partir de sistemas complejos virtuales, para determinar si puede configurar algún grado de aporte como una arista más entre las estrategias usadas en esta área de estudio y desarrollo.

5.- Implementación de una aplicación computacional para la generación y procesamiento de material sonoro utilizando un observador participante en un sistema complejo virtual.

En el presente capítulo daremos a conocer parte del desarrollo técnico de una aplicación modular, desarrollada en el lenguaje de programación Pure Data (Puckette, 1996) con el objetivo de generar y procesar material sonoro a partir de un sistema complejo virtual, incorporando un observador participante, lo que nos permitirá posteriormente realizar algunas experiencias para poner en juego las ideas presentes en este documento.

La aplicación se compone principalmente de tres partes interconectadas, el primer módulo, es la sección encargada de la configuración de los parámetros del enjambre virtual, la recolección, almacenamiento y cálculo de los datos provenientes y derivados de las posiciones de cada agente de una bandada de boids. También en esta

sección está integrada la interfaz gráfica que nos permite visibilizar la dinámica del sistema. El segundo, es el módulo encargado de traducir los datos generados por el enjambre en audio digital y mensajes midi, con parámetros configurables, para facilitar la experimentación sonora y búsqueda timbrística y musical.

El último de los tres módulos principales, es el que permite incorporar activamente la visión de un observador en términos sonoros, pues nos sitúa en el punto espacial de observación de un agente del sistema, percibiendo los cambios de amplitud, el efecto doppler y también la posición en el espacio (provisoriamente, desde una perspectiva 2D), con salida de audio para un sistema de 8 parlantes.

5.1.- Módulo 1, administrador del sistema complejo virtual.

Configura y administra, en primer término, el algoritmo que calcula y origina los datos de las posiciones de los agentes.

Entre los principales parámetros configurables del enjambre se encuentran: número de agentes, velocidad de los agentes (max. & min.), fuerza del “instinto de centrado”, fuerza del instinto de “esquivar” a sus vecinos, aceleración y distancia preferida con respecto a los vecinos. También se puede configurar desde aquí un atractor/repulsor (números positivos atraen, negativos repelen, cero evita ambas posibilidades) en alguna posición en particular del espacio 3D.

Se puede configurar también en esta sección la frecuencia de iteración (en milisegundos, 40 milisegundos es el “default”).

Incluye también una interfaz gráfica programada en PD-GEM (Danks, 1997) para visibilizar con facilidad la posición en el espacio 3d de cada agente. Entre las principales opciones que esta sección ofrece, se encuentran: Asignar colores aleatorios a todos los agentes del enjambre, elegir el color de los agentes, elegir el color del observador, elegir el tamaño de los agentes y “modo de visualización” (“fill”, “line” y “point”). También se puede elegir la opción de representar a cada agente con su número

dentro del enjambre lo que puede facilitar la creación y revisión de implementaciones experimentales, corroborando rápidamente si el sistema sonoro implementado se está comportando según lo previsto, con respecto al comportamiento de cada agente.

Este módulo también cuenta con algunas opciones básicas de cámara, pudiendo cambiar el ángulo desde dónde visibilizamos al enjambre, acercarnos, alejarnos, rodearlos en constante movimiento, etc.

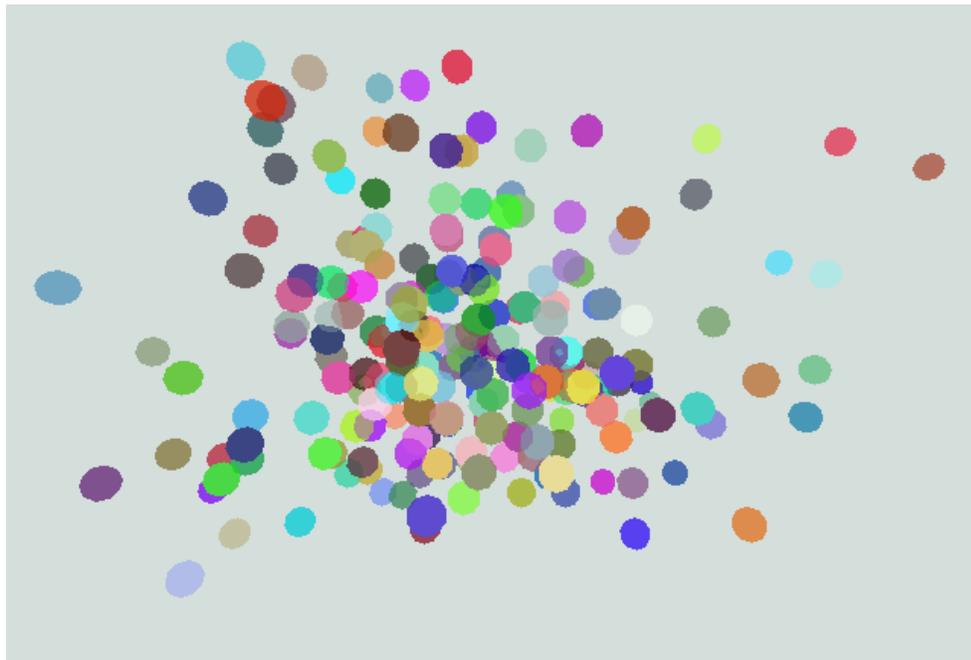


Figura 7: Un enjambre virtual con múltiples agentes equivalentes, todos ellos con las mismas reglas de comportamiento y el mismo tipo de sonificación, representados con variedad de colores.

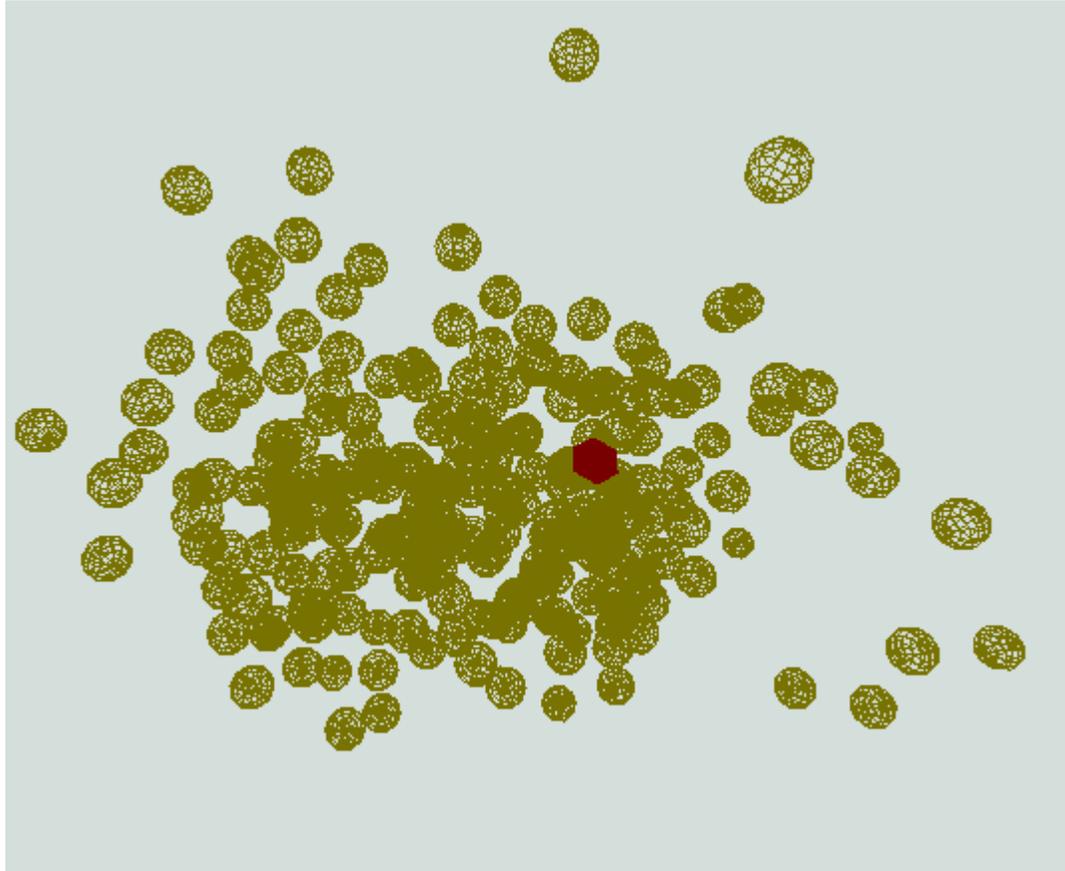


Figura 8: Imagen de un enjambre virtual, en color verde musgo “agentes comunes”, con interacciones y sonificaciones equivalentes. En color rojo, un observador participante, con las mismas reglas de interacción que los agentes comunes, pero con variables “extras”, disponibles para realizar nuevas sonificaciones, basadas en su interacción con los demás agentes.

El cálculo y llenado de las tablas de datos que contienen los elementos que luego usaremos para generar material sonoro también están contenidos en este módulo. Entre los datos contenidos más relevantes se encuentran: Las posiciones de los agentes, la distancia de cada agente con respecto al observador y la aceleración con respecto al

observador, la que calculamos con la diferencia entre la distancia de un agente con el observador, en la iteración N y la iteración N-1.

Otro cálculo importante a realizar en esta sección es la posición del agente con respecto al observador (considerando que el Observador es el centro del “círculo de observación”). Esta operación nos permite, en una etapa posterior, el posicionar a dicho agente en la configuración de 8 parlantes. Este cálculo se realiza considerando, provisoriamente, sólo dos dimensiones, pues la espacialización, en este trabajo, sólo estará dispuesta de forma rudimentaria en un plano horizontal (siendo un punto clave a depurar en futuras implementaciones).

5.2.- Módulo 2, generador de material sonoro.

Este módulo es el que contiene las implementaciones necesarias para asignar los datos de las posiciones de los agentes como controladores de los parámetros de osciladores, por default X=frecuencia, Y=Amplitud y Z duración, todas estas opciones son ajustables en cuando a la interpretación de los datos de entrada, la conversión los datos de las posiciones de los agentes a mensajes MIDI, también con opciones ajustables en cuanto a sus rangos de entrada y salida, además de la posibilidad de asignar de forma individual los datos de posición, velocidad promedio, aceleración y distancia con respecto al observador en implementaciones libres de generación y manipulación de audio.

Las herramientas para asignar tracks de audio (en formato AIFF) a los agentes también están contenidas en esta sección, pudiéndose asignar de forma individual, esto es, un track de audio para un agente N, como también la asignación de un grupo de tracks para un grupo de agentes, o un track individual para un grupo de agentes, diversificando su cualidades sonoras de acuerdo a la dinámica del enjambre.

5.3.- Módulo 3, procesador de material sonoro utilizando un observador participante.

Este módulo está dedicado esencialmente a recrear la experiencia espacial, en 2D, de un agente participante, el observador, dentro de la dinámica de un sistema complejo virtual.

La cadena de procesos está dispuesta de tal forma que sea posible la configuración individual de las tres etapas de proceso, pudiendo incluso saltarse, con finalidades experimentales, una, dos o todas las etapas.

5.3.1.- Modulador de amplitud basado en el observador participante.

El primer proceso, modula la amplitud de los canales de audio correspondientes a cada agente según la distancia que tengan con respecto al observador, la proporción es ajustable, como también lo es la distancia a considerar como “rango de percepción” por parte del observador. El resultado es una especie de mezcla de audio, dinámica, basada en la observación (de distancia) de un agente, con respecto a otros agentes, dentro de un sistema complejo virtual, una especie de *complex-mixer*.

5.3.2.- Efecto Doppler, desde la perspectiva del observador participante.

El segundo proceso, modula la frecuencia del sonido, de acuerdo a la relación de dirección y aceleración entre un agente, fuente virtual del material sonoro, y el observador (Doppler, 1842). El factor de modulación puede ser configurado, de tal forma de recrear una modulación cercana a las usualmente audibles en nuestro entorno cotidiano, o puede disponerse de forma experimental, permitiendo así indagar en las posibles cualidades que surjan del material procesado en condiciones irregulares (y posiblemente irreales). El resultado es la modificación dinámica de las frecuencias,

basada en la observación (de aceleración) de un agente, con respecto a sus congéneres dentro de un sistema complejo virtual.

5.3.3.- Espacializador, basado en la experiencia del observador participante.

El tercer proceso, dentro de este módulo recoge la información de ubicación del agente con respecto al observador, en un plano 2D, esto es, un punto de los 360 grados del círculo unitario, y según esta información, pondera la amplitud que tendrá dicho sonido en cada uno de los 8 altavoces mediante paneos dinámicos, esta proporción es configurable.

6.- Dos experiencias sonoras utilizando un observador participante en un sistema complejo virtual.

En la siguiente sección describiremos y comentaremos un experimento sonoro y la creación de una obra musical, utilizando un observador participante, en la generación y procesamiento de audio a partir de sistemas complejos virtuales.

6.1.- Experimento: Comparación entre el material sonoro generado a partir de la dinámica de un sistema complejo virtual, con y sin el uso de un observador participante.

6.1.1.- Descripción

En este experimento nos propusimos el crear tres secuencias de audio, en diferentes versiones², de forma simultánea, a partir de la dinámica de un sistema complejo virtual, utilizando primigeniamente un estilo de sonificación “tradicional”, el “enfoque directo” usado por Blackwell (2002), esto es, sin un observador participante, mientras que los otros dos tracks de audio, en base al mismo material sonoro, utilizan diferentes procesos derivados del uso de un observador participante.

² El detalle de los tracks de audio se encuentra disponible en el Anexo.

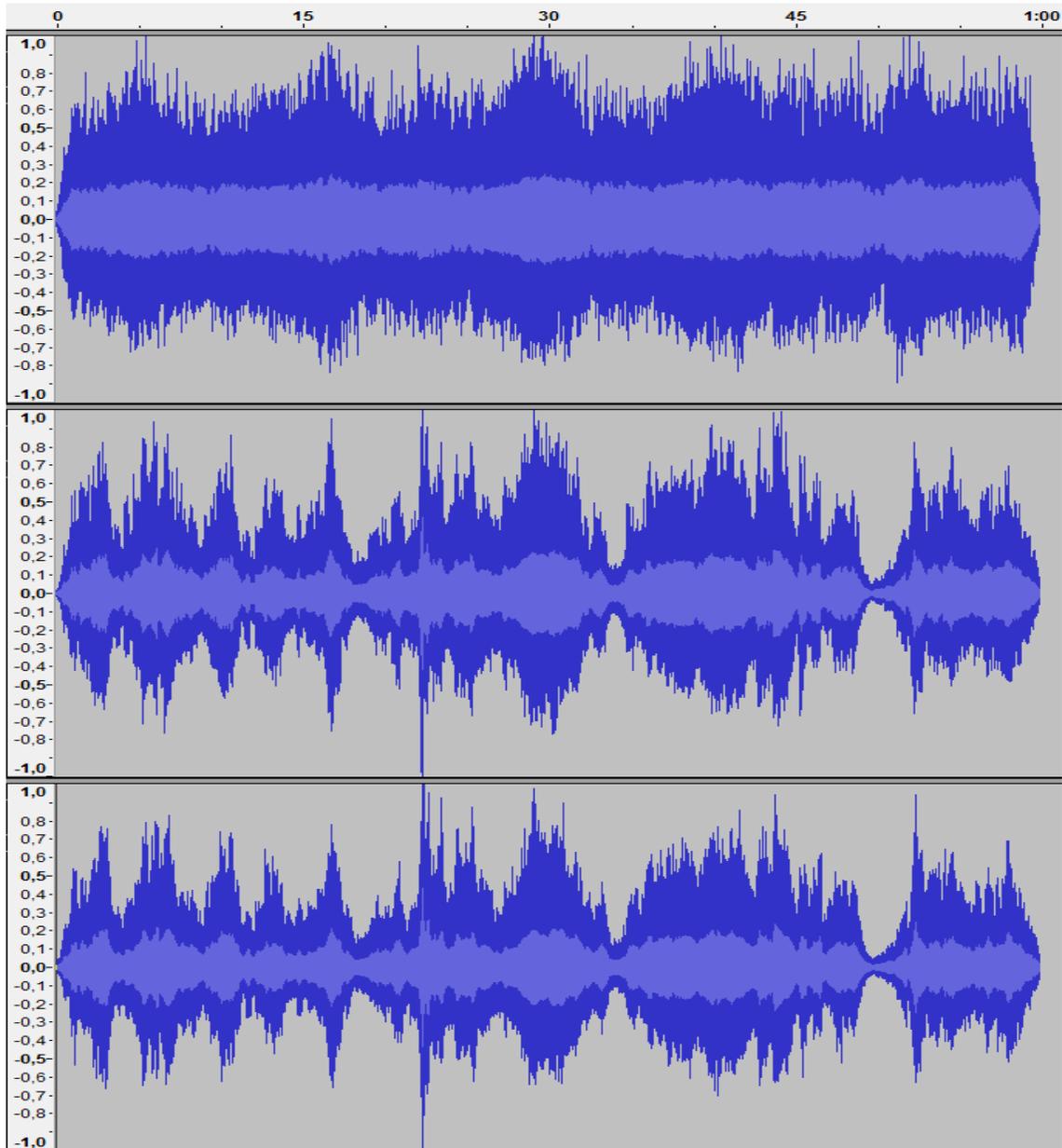


Fig. 10. *Tracks* de audio en presentación “forma de onda” (*Soft. Audacity*). Tiempo en segundos en el eje horizontal y amplitud en el vertical. El primer *track* no está procesado con el uso de un observador participante. El segundo *track* está procesado en su amplitud mediante el uso de un observador participante y el tercer

track está modulado en amplitud y frecuencia mediante el uso de un observador participante.

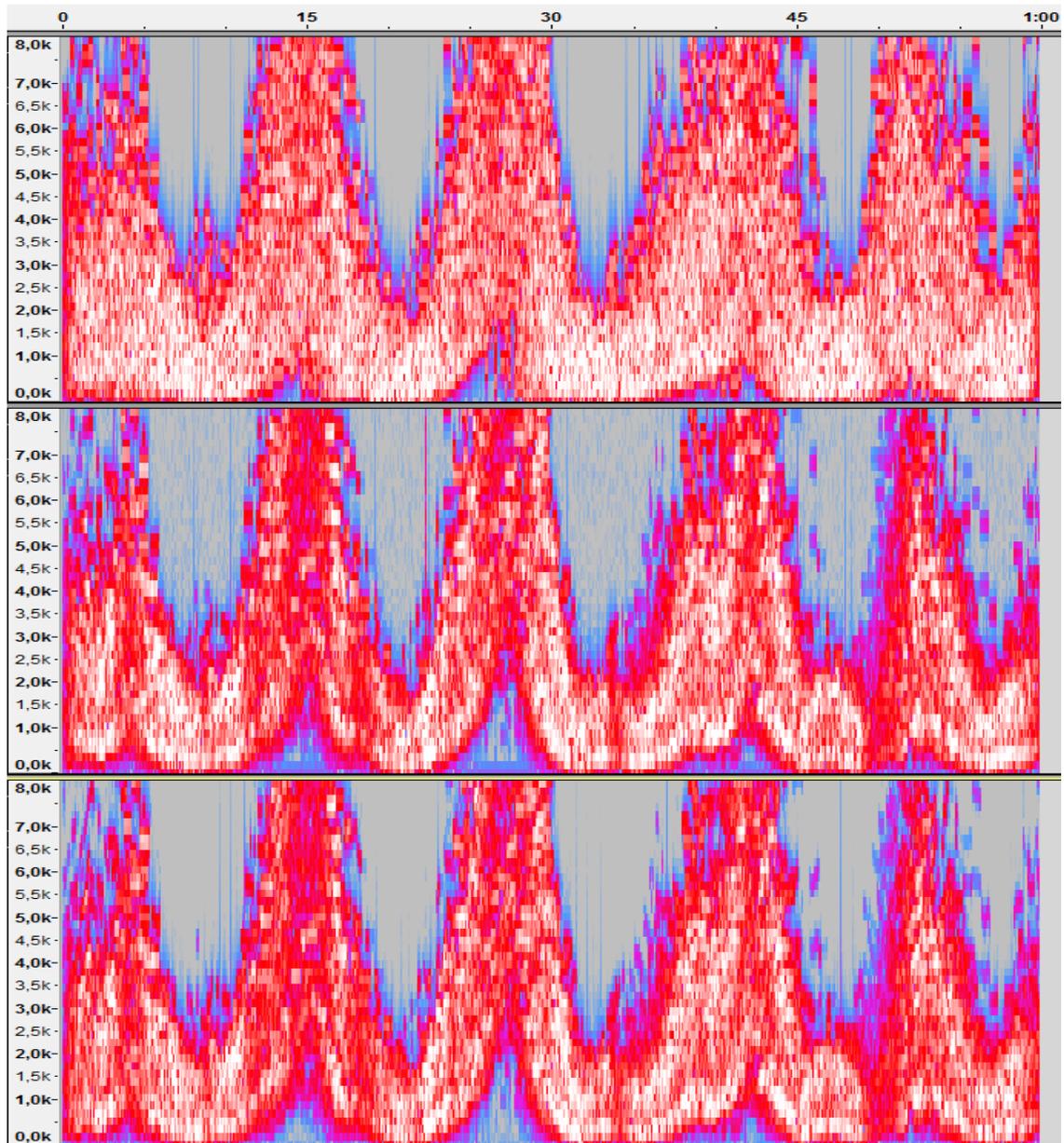


Fig. 11. *Tracks* de audio en presentación de “Espectrograma” (*Soft. Audacity*). Tiempo en segundos en el eje horizontal y frecuencia en el vertical, en kHz. El primer *track* no está procesado con el uso de un

observador participante. El segundo *track* está procesado en su amplitud mediante el uso de un observador participante y el tercer *track* está modulado en amplitud y frecuencia mediante el uso de un observador participante.

6.1.2.- Observaciones y comentarios.

El material sonoro generado sin un observador participante muestra mayor homogeneidad y regularidad en cuanto a sus amplitudes que el material generado usando un observador participante, en todas sus versiones (ver fig. 10).

El material sonoro generado sin un observador participante presenta mayor densidad espectrográfica que el generado con un observador (ver fig. 11).

Teniendo un rango de observación limitado, es una característica esperable que el material generado y procesado con un observador participante contenga menos material sonoro que la totalidad del sistema. Este punto no es considerado por nosotros como algo negativo, pues creemos que la visión parcial del sistema, entregada por el observador en su experiencia del enjambre es complementaria a la versión “total” o de enfoque directo, y pueden funcionar como matices contrastantes en términos compositivos.

6.2.- Creación de una obra musical utilizando un observador participante en un sistema complejo virtual.

La obra electroacústica se titula “Obspatia”, este neologismo fue creado por el autor para describir en un término “el espacio percibido por un observador”. Fue concebida con la intención de poner en juego los conceptos relativos a un observador participante dentro de un sistema complejo virtual sonoro, tanto en una perspectiva técnica como poética.

Si bien la complejidad ha sido abordada en la música de múltiples formas, como las descritas en este documento y también a través de procesos compositivos no electroacústicos, como es el caso de las obras de la “nueva complejidad” de Brian Ferneyhough, lo usual es que el auditor no cruce la “cuarta pared” participe de la complejidad desde afuera del sistema. Nuestra motivación es cruzar esa barrera e integrarnos a la complejidad, con las reglas de la complejidad. El observador participante parece ser un buen vehículo para dicho propósito, pues a través de su dinámica accedemos a vivenciar lo que cualquier agente del sistema experimentaría.

El universo sonoro de este sistema complejo virtual, generado a partir de su dinámica, se compone de tres conjuntos de sonidos: *samples* de instrumentos musicales tradicionales orquestales, sonidos sintetizados, la mayoría con afinación determinada, y fragmentos sonoros basados en los dos primeros conjuntos, incorporando un instrumento extra, el *glockenspiel* que nos indicará el instante simbólico de la memoria del observador, aquel momento en que deja de observar por un instante a su alrededor, para observar lo que ocurre internamente, procesando su experiencia previa, incorporando detalles extra propias de su forma de interpretar lo ocurrido.

Mediante el uso de atractores y repulsores se incitó al enjambre a realizar una especie de coreografía, que determinó en buena medida las áreas en donde los agentes podían habitar en los diferentes momentos de la obra. De esta forma se pudo definir para diferentes instantes la tendencia del material sonoro a un conjunto de frecuencias, amplitudes y duraciones, creando especies de tensiones y distensiones musicales.

La dinámica del enjambre, durante la realización de su “coreografía” composicional, generó una serie de secuencias Midi que alimentaron a los módulos de sonido con timbres orquestales y timbres sintetizados. Los tracks de audio resultantes fueron asignados a agentes los que “interpretaron” las secuencias mientras el observador participante capturó la experiencia. De esa perspectiva resultante se genera el tercer conjunto de sonidos, “los recuerdos del observador”, los que incorporan al *glockenspiel* como señal (fue seleccionado por su claridad timbrística y registro agudo, fácilmente

distinguible entre la multitud de sonidos) En una nueva iteración de la coreografía, estos sonidos de “recuerdos” emergen en el instante que la dinámica entre el observador y el enjambre baja de intensidad, principalmente por ocasionales separaciones entre el observador y su grupo de vecinos locales.

La forma de la obra es unitaria, y si bien tiene algunos instantes en los que emergen los recuerdos del observador, cambiando en alguna medida la naturaleza del material sonoro, la intención compositiva es representar la complejidad del vivir en sociedad y el continuo diálogo entre la participación con otros, semejantes a uno, y la introspección y el recuerdo de las vivencias cotidianas.

El resultado final de todo lo descrito es una obra electroacústica, con sonidos especialmente creados con un propósito musical, de una duración de poco más de siete minutos, espacializada para ocho parlantes. El autor se siente conforme con el resultado sonoro final, evaluando esta composición en la perspectiva de ser la primera obra creada con esta lógica, con mucho terreno aún por recorrer.

7.- Conclusiones

7.1.- Panorama actual

En el presente trabajo logramos diseñar e implementar una nueva estrategia en el procesamiento de material sonoro a partir de sistemas complejos virtuales: utilizar observadores participantes.

Nos sumergimos en el panorama general de las estrategias usadas hasta ahora y encontramos algunas vetas investigativas que podrían considerarse referentes directos al uso de observadores participantes, entre estas destacamos la estrategia de “*The Coupled Oscillators Approach*” (Huepe, Colasso, & Cádiz, 2014) que genera nuevas variables a partir de las relaciones entre agentes, misión similar a la de nuestro observador participante, que podría interpretarse desde esa perspectiva como un agente multi-

acoplado a todo agente que estén dentro de su “rango de percepción”. Destacamos también a Davis (2010) quien advierte sobre el potencial para la sonificación de emergencias a través del uso de un observador.

Desde el punto de vista de lo filosófico destacamos a Humberto Maturana, quien fue gran inspiración para este trabajo, al llamar a hacernos conscientes del observador que somos y/o utilizamos, pues “todo lo que es dicho, es dicho por un observador” (Maturana y Varela 1980: xix, citados en Reynoso, 2006, Pág. 75).

Consideramos que la puesta en marcha de esta rama investigativa llegó a buen puerto a través de este trabajo, alentándonos a continuar en su profundización filosófica, teórica y técnica y en su diversificación y aplicación creativa.

7.2.- Proyecciones

Entre algunos de los desafíos técnicos por abordar se encuentran la escalabilidad de los experimentos, incorporando números mayores de agentes, la incorporación de técnicas avanzadas de espacialización y filtros HRTF (Begault, 2000) y la posibilidad de exportar los resultados sonoros finales de la espacialización en mezclas estéreo que operen como reducciones facultadas de la experiencia auditiva al escuchar en ocho parlantes. Es también un nicho investigativo prometedor el indagar en nuevas y más intrincadas posibilidades generativas del uso de un observador participante. La exportación en vídeo de la performance de los agentes también sería muy deseable.

Con respecto a los ejercicios realizados, validamos el aporte sonoro (incipiente aún, pero prometedor en potencial) resultante del uso de observadores participantes en sistemas complejos virtuales. El módulo dedicado a la modulación de la amplitud (ver capítulo 5.3.1) aporta una herramienta sonora dinámica y enriquecedora para mezclar un conjunto de sonidos aprovechando la dinámica de un sistema complejo virtual, un *complex-mixer*. La implementación dedicada a la modulación de la frecuencia basada en el efecto Doppler (ver sección 5.3.2) integra variaciones frecuenciales a los audios

procesados, que bien dispuestos composicionalmente pueden resultar interesantes y en el contexto del uso del módulo espacializador (ver 5.3.3), aporta realismo a la experiencia de nuestro agente observador.

La experiencia de participar del enjambre virtual, configura también, desde una perspectiva creativa, un gran aporte. Las potenciales poéticas resultantes de esta idea son abundantes, legándonos un terreno fértil para la creación musical.

8.- Referencias bibliográficas

- Adorno, T. (2001). *Epistemología y Ciencias Sociales*. Madrid: Ediciones Cátedra (Grupo Anaya, S.A).
- Begault, D. R. (2000). 3-D sound for virtual reality and multimedia.
- Bisig, D., Neukom, M., & Flury, J. (2007). Interactive Swarm Orchestra.
- Blackwell, T. (2007). Swarming and music. *Reck Miranda E, Biles JA (eds) Evolutionary Computer Music*, 194-217.
- Blackwell, T. M., & Bentley, P. (2002). *Improvised Music with Swarms*. London .
- Blackwell, T., & Bentley, P. (2002). *Improvised Music with Swarms*.
- Blackwell, T., & Young, M. (2004). *Swarm Granulator*.
- Codognet, P., & Pasquet, O. (2009). Swarm Intelligence for Generative Music. *11th IEEE International Symposium on Multimedia*.
- Danks, M. (1997). Real-time image and video processing in gem. . *In Proceedings of the International Computer Music Conference*, (pp. 220-223).
- Davis, T. (2007). Gestural control of sonic swarms: composing with grouped sound objects. *Proceedings of the SMC'07 7., 4th sound and music computing conference*, (pp. 192–195). Lefkada, Greece.
- Davis, T. (2010). Complexity as process: complexity inspired approaches to composition. *Organised Sound* 15(2), 137–146.

- Davis, T. (2011). Complexity as practice: a reflection on the creative outcomes of a sustained engagement with complexity. *Leonardo* 45(2), 106–112.
- Davis, T., & Rebelo, P. (2005). HEARING EMERGENCE: TOWARDS SOUND BASED SELF ORGANISATION.
- Doppler, C. A. (1842). Über das farbige Licht der Doppelsterne und einige andere Gestirne des Himmels.
- Echeverría, R. (1997). *El Observador y su Mundo Vol. II*. Santiago: Comunicaciones Noreste Ltda.
- Echeverría, R. (2005). *Ontología del Lenguaje*. Santiago: Comunicaciones Noreste Ltda.
- Echeverría, R. (2009). *Escritos sobre aprendizaje: Recopilación*. Santiago: Comunicaciones Noreste Ltda.
- Fonseca, N. (2015). Immersive Sound Design Using Particle Systems. . *In Audio Engineering Society Convention 138*. Audio Engineering Society.
- Fonseca, N. (n.d.). *Sound Particles*. Retrieved Marzo 15, 2016, from <http://www.sound-particles.com/>
- Hadjileontiadis, L. J. (2014). Conceptual Blending in Biomusic Composition Space: The “Brainswarm” Paradigm. *Proceedings ICMC/SMC*, (pp. 621-628). Atenas.
- Huepe, C., Colasso, M., & Cádiz, R. F. (2014). Generating Music from Flocking Dynamics. In A. LaViers, & M. Egerstedt, *Controls and Art Inquiries at the Intersection of the Subjective and the Objective* (pp. 155-179). New York: Springer.
- Kaliakatsos–Papakostas, M. F. (2014). Swarm Lake: A Game of Swarm Intelligence, Human Interaction and Collaborative Music Composition. *Proceedings ICMC/SMC*, (pp. 425-432). Atenas.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. C. (2001). *Swarm intelligence*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Kim-Boyle, D. (2005). Sound spatialization with particle systems.

- Lahoz-Beltrá, R. (2010). *Bioinformática: Simulación, vida artificial e inteligencia artificial*. Ediciones Díaz de Santos. Madrid: Ediciones Dias de Santos, S.A.
- Lehane, S. (n.d.). *Below the line*. Retrieved marzo 15, 2016, from <http://www.btlnews.com/news/68798/>
- Mack, N., Woodsong, C., MacQueen, K. M., Guest, G., & Namey, E. (2005). *Qualitative Research Methods: A Data Collector's Field Guide*. North Carolina: Family Health International.
- Maturana, H. (1996). *El sentido de lo Humano*. Santiago: Dolmen Ediciones.
- Maturana, H., & Pörksen, B. (2004). *Del ser al Hacer*. Santiago: Comunicaciones Noreste Ltda. .
- Mitchell, M. (2009). *Complexity a Guide Tour*. OXFORD UNIVERSITY PRESS.
- Puckette, M. (1996). Pure Data: another integrated computer music environment. . *Proceedings of the Second Intercollege Computer Music Concerts*, 37-41.
- Reynolds, C. (1987). Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model. *Computer Graphics*, 21(4), pp. 25-34.
- Reynoso, C. (2006). *Complejidad y el Caos: Una exploración antropológica*. Universidad de Buenos Aires.
- Schacher, J. C., Bisig, D., & Kocher, P. (2014). The Map and the Flock: Emergence in Mapping with Swarm Algorithms. *Computer Music Journal*, 38:3, 49–63.
- Schacher, J. C., Bisig, D., & Neukom, M. (2011). Composing with swarm algorithms - Creating interactive audio-visual pieces using flocking behaviour.
- Spector, L., & Klein, J. (2002). Complex Adaptive Music Systems in the breve Simulation Environment.
- Unemi , T., & Bisig, D. (2005). Music by interaction among two flocking species and human. *Proceedings of the third international conference on generative systems in electronic arts*, (pp. 171–79). Melbourne, Australia.
- Waissbluth, M. (2008, Febrero). *Sistemas Complejos y Gestión Pública*. Santiago, Chile.
- Wilson, S. (2008). *Spatial Swarm Granulator*.

9.- Anexo: Detalles de los tracks de audio generados en el experimento (cap. 6.1).

Track1 - Generación de material sonoro a partir de las variables de posición de cada agente de un enjambre virtual; X, Y y Z como frecuencia, amplitud y duración, respectivamente (Blackwell, 2002).

Track2 - El mismo material sonoro del Track1, pero incluyendo un observador participante, procesando y modulando la amplitud (ver capítulo 5.3.1).

Track3 – El mismo material sonoro del Track1, incluyendo un observador participante, procesando y modulando la amplitud y la frecuencia (ver puntos 5.3.1 y 5.3.2).