

ASTRO-OPUS

Composición de una obra musical (ASTRO-OPUS #1) a partir de la creación de un instrumento virtual basado en señales sonoras de fenómenos astronómicos

Daniel Chebair¹, David Chebair¹, Jairo Gómez¹

1. Profesores Departamento de Música, Gimnasio Campestre

Correspondencia para los autores: jagomez@campestre.edu.co, dchebair@campestre.edu.co

Recibido: 31 de agosto de 2016

Aprobado: 18 de octubre de 2016

RESUMEN

El propósito del presente estudio es mostrar el proceso de composición de una obra musical realizada a partir de la utilización de sonidos de fenómenos astronómicos en longitud de onda de radio, principalmente, organizados y clasificados en un instrumento virtual. Esta investigación se desarrolló a través de la recolección de sonidos para posteriormente realizar procesos de análisis y muestreo de aquellos que harían parte del instrumento virtual, creado para la composición musical. El resultado final es una obra musical de 7 minutos, en donde interactúan sonidos indeterminados de diversos fenómenos astronómicos encontrados en la red, utilizados serialmente combinando diferentes elementos musicales contemporáneos, como ejemplo de productos interdisciplinarios. La obra puede ser escuchada en el siguiente sitio: <https://youtu.be/3EH-5R-brbc>.

Palabras clave: Radioastronomía, campo electromagnético, fenómenos astronómicos, sampleo, sonido, loop, composición musical.

SUMMARY

The purpose of this study is to evidence the composition process of a musical piece with the use of sounds extracted from astronomical phenomena within radio wavelengths, which have been organized and classified in a virtual instrument. This research was developed through the gathering of sounds to later perform analysis and sampling processes of those that would be part of the virtual instrument created for composing a musical piece. The final outcome is a seven minute long musical piece, where undetermined sounds taken from several astronomical phenomena found online, interact through the combination of different contemporary musical elements, as an example of interdisciplinary products. The musical piece may be found at the following link: <https://youtu.be/3EH-5R-brbc>.

Key words: Radio Astronomy, electromagnetic field, astronomical phenomena, sampling, sound, loop, musical composition.

INTRODUCCIÓN

Una de las razones principales para encontrar una renovación constante en la música es la evolución en la que se ve inmersa de manera permanente, donde el ser humano ha mostrado sus extraordinarias dotes de creación. La evolución de la música se hace a partir de innovaciones que posteriormente son mejoradas a través del tiempo.

En este sentido, podemos decir que existen nuevas posibilidades para la creación musical si aprovechamos la tecnología y los conocimientos que día a día va descubriendo la ciencia. Durante los dos últimos siglos la astronomía ha desarrollado numerosas técnicas que nos han mostrado un universo complejo y fascinante. Una de ellas es la radioastronomía, ciencia que no solamente ha mostrado los sitios más lejanos del universo sino que ha permitido escuchar sonidos de fenómenos como púlsares, cometas y la interacción del Sol con la Tierra. Toda esta información fue utilizada como recurso sonoro para realizar una obra musical.

Este trabajo ha permitido desarrollar un concepto de interdisciplinariedad que se pone en práctica a través de la realización de un proyecto que involucra ciencia, música y tecnología, tres disciplinas eternamente ligadas, que para el presente estudio convergen en la creación de una pieza musical basada en sonidos generados por campos electromagnéticos presentes en nuestro planeta y el universo, planteando diferentes interrogantes acerca de la posibilidad de producir un discurso musical coherente a partir de estos sonidos y los procesos relacionados.

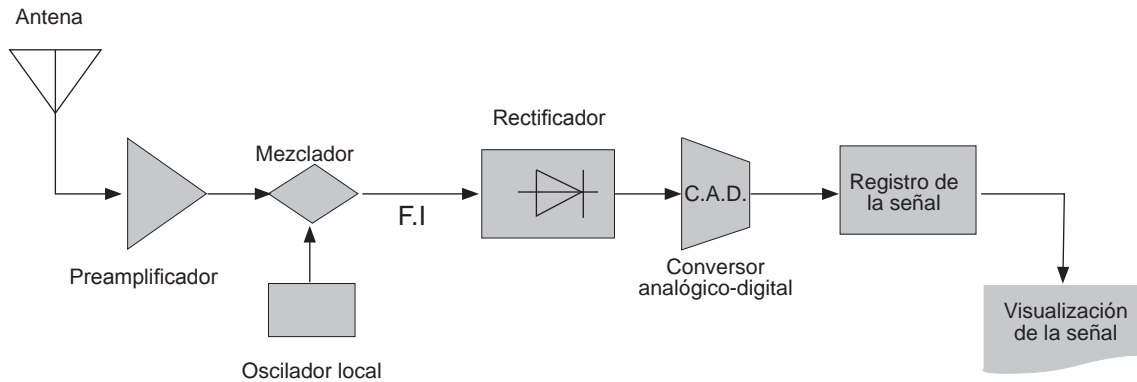
MARCO TEÓRICO

La radioastronomía es la rama de la astronomía relacionada con las emisiones

de radio de los cuerpos celestes (Oxford Dictionary, 2016). Dicha ciencia ha logrado incrementar el conocimiento del universo, particularmente, con el descubrimiento de nuevos objetos, incluyendo los púlsares, los cuántares y las galaxias activas. La radioastronomía es también, en parte, responsable del descubrimiento de materia oscura como un importante componente de nuestro universo, debido a que las mediciones de radio de la rotación de las galaxias sugiere que hay mucha más masa en ellas que la que ha sido observada directamente.

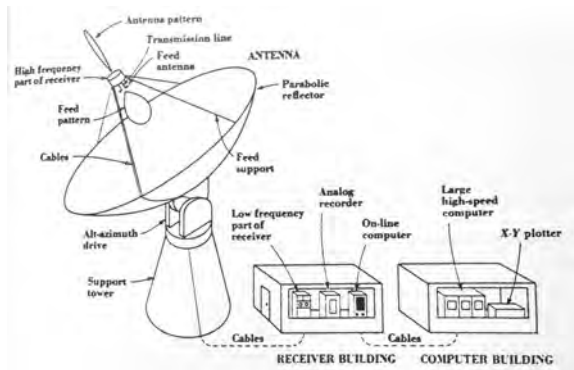
A pesar de que James Clerk Maxwell había descrito el espectro electromagnético a mediados del XIX, el estudio del universo estuvo limitado a la luz visible hasta bien entrado el siglo XX. Pero esta situación cambió radicalmente cuando, en 1931, Karl Jansky descubrió ondas de radio que procedían de la Vía Láctea (Krauss, 1988). A finales de la década de 1920 Jansky estaba trabajando, en Holmdel (New Jersey), sobre las causas de las perturbaciones en radio de origen atmosférico, que intervienen con las transmisiones de larga distancia. Para este propósito construyó una antena formada por una estructura metálica en forma de jaula y la suspendió sobre las ruedas de un viejo automóvil Ford, de manera que un motor pudiera hacer girar la antena en diferentes direcciones (Astronomía.com, s.f.).

Hacia 1951, Sir Bernard Lovell, de la Universidad de Manchester, se convirtió en el primer profesor de radioastronomía y dirigió la construcción del enorme radiotelescopio parabólico de 76 m de diámetro del Observatorio de Jodrell Bank (Kraus, 1988). Los radiotelescopios son dispositivos que captan las ondas de radiofrecuencia procedentes del espacio. Esto permite determinar la posición de la radio-fuente en la bóveda celeste y estudiar dichos objetos en la frecuencia en la que está sintonizado el radiotelescopio.



Esquema básico de un radiotelescopio. Tomado de: <http://liccienciasnaturalessastronomia.blogspot.com.co/>

Se trata básicamente de radio-receptores de altísima sensibilidad operando en frecuencias (o en longitudes de onda) en las que la atmósfera terrestre es transparente (Bachiller, 2009).



Radiotelescopio. Tomado de: Kraus, J. (1986). *Radio Astronomy*. Ohio: Cygnus books. 2nd Edition.

Funcionamiento de los radiotelescopios:

Las ondas de radio llegan a la antena y se amplifican en el mezclador. De allí pasan al receptor donde se realiza el proceso de guardar y de crear la señal de la información que se reproduce mostrándola en forma audible. Finalmente, pasa a un registrador donde visualiza la imagen (ESO, s.f.)

Emisiones de Radio

La emisión de radio del universo proviene de tres mecanismos: radiación sincrotrón, emisión libre-libre y emisión térmica. La radiación sincrotrón es emitida

en su mayor parte por electrones relativistas confinados en los campos magnéticos de las galaxias. Una parte de esta emisión proviene directamente de los remanentes de supernova, los núcleos de galaxias activas, los púlsares y los micro-quasares. La emisión térmica tiene su origen en cuerpos relativamente fríos, en su mayoría en el medio interestelar. En estos sitios, el hidrógeno es ionizado por la radiación ultravioleta proveniente de las estrellas situadas en el centro de las nebulosas. La emisión de radio originada a un mecanismo térmico se produce cuando los electrones libres, expulsados de los átomos, pasan cerca a los protones y son acelerados causando una emisión en la longitud de onda de 21 centímetros. A este mecanismo se le llama libre-libre (Kraus, 1986).

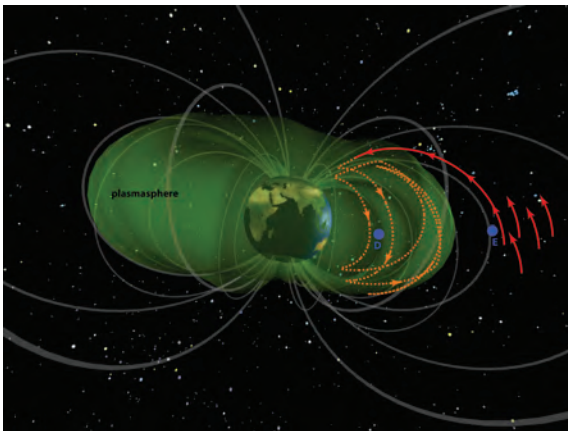
A continuación se presentan varios fenómenos astronómicos que producen emisiones en diferentes frecuencias y que están disponibles en la red y con los cuales realizamos el presente trabajo.

Destello solar: Violenta explosión en la fotosfera del Sol, producida por la interacción de las líneas de campo magnético que emergen por las manchas solares. La explosión produce una energía equivalente a decenas de millones de bombas de hidrógeno (Moreno, Rojas y Jordán, 2006).

Fenómenos en los anillos de Van Allen: En 1958 James Van Allen detectó por primera vez los cinturones de radiación que rodean a la Tierra. El doctor Van Allen también halló que las principales fuentes de partículas de los cinturones de radiación externa son el viento solar y la ionosfera. Las fuentes principales para los cinturones internos son las partículas energéticas solares y las reacciones con los rayos cósmicos galácticos.

Chorus: Fenómeno electromagnético causado por ondas de plasma en los cinturones de radiación de la Tierra. Por años, radio operadores en la Tierra los han estado escuchando desde lejos. Ahora, las sondas de la Nasa viajan a través de la región del espacio de donde provienen actualmente los Chorus. El "EMFISIS" (Electric and Magnetic Field Instrument Suite and Integrated Science) es un instrumento que permite captar señales de los cinturones de radiación, que suena como si los seres humanos tuviéramos antenas de radio para escucharlos (Gubin, 2013).

Whistler: Las ondas silbido ó "whistler modes" es un fenómeno que ocurre naturalmente



Chorus: El diagrama muestra la aceleración local causada por los acontecimientos del Chorus. La parte superior muestra los flujos de electrones antes (izquierda) y después (derecha) de una tormenta magnética. La entrada de electrones de baja energía en los cinturones de radiación (1) excita las ondas de coro (2) y causa una densidad espacial en fase a las afueras de la plasmasfera (3). Los electrones acelerados pueden viajar hacia adentro, hacia la Tierra o en el espacio exterior (4). Tomado de <http://www.space.com>.

te en la atmósfera originado por los rayos de las tormentas. Se trata de ondas de baja frecuencia con respecto a la frecuencia ciclotrónica de los electrones, pero de alta en lo que respecta a la frecuencia ciclotrónica de los iones. Estas frecuencias están entre 100 Hz y 10 KHz (Nasa, 2016).

El "sonido" del cometa Churyumov-Gerasimenko: Un conjunto de instrumentos en la sonda Rosetta de la Agencia Espacial Europea captó señales procedentes del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko que, procesadas hasta hacer audible su frecuencia, resultan en un llamativo conjunto de ruidos. El "sonido" del cometa no es audible directamente para el oído humano porque es emitido entre 40 y 50 mili hercios, muy por debajo de lo que somos capaces de escuchar los humanos, que normalmente se halla entre los 20 hercios y los 20 kilohercios. A fin de hacer los sonidos audibles para los humanos los científicos de Rosetta incrementaron las frecuencias 10.000 veces (NCYT, 2016).

Sampleo

Se considera como padre del sampleo a Pierre Schaeffer (1910-1995) quien, junto a Pierre Henry, fundó el estudio electrónico del RTF (Radio Televisión Francesa) en 1944. En 1948 inventaron la "Música concreta", al descubrir el interés musical de la repetición y de la alteración de las leyes de la acústica. De manera oficial la expresión "Música concreta" apareció por primera vez en la revista *Polyphonie* en 1949.

La aplicación del sampleo tal como lo conocemos hoy en día comenzó a realizarse a principios de los años 1970, cuando la tecnología permitió grabar sonidos en formato digital por medio de computadoras, que eran capaces de tanto codificar y grabar los sonidos en lenguaje entendible por los ordenadores como de reproducirlos. De ahí nació el término sam-

pling o «muestreo». A continuación se definen algunas características musicales que se emplearon en este proyecto:

Loop: Fragmento de audio corto que se repite dentro de una composición, de forma tal que el final y el principio de la secuencia se encuentran en el mismo punto (es un proceso circular) (Arkitekturaz, 2008).

Altura: Cualidad de un sonido gobernado por la cantidad de vibraciones producidas por el mismo. Se refiere a que tan alto o bajo puede ser un sonido (Oxford Dictionary, 2016).

Vertical/Horizontal: En el lenguaje musical son conectados a los dos aspectos armónicos y melódicos del fenómeno sonoro. Por lo tanto, los términos verticales y horizontales refieren a las estructuras del pensamiento, de la melodía y de la armonía (Arkitekturaz, 2008).

Ritmo: Se refiere a la organización de la duración de los sonidos en el tiempo (Howell, 2005).

Armonía: Es la relación entre los sonidos simultáneos. En nuestra cultura este estudio se ha desarrollado históricamente con base a las proporciones de las distancias entre un sonido y otro visto desde una perspectiva vertical (Howell, 2005).

PRIMERA ETAPA: BÚSQUEDA Y ANÁLISIS DE SEÑALES DE FENÓMENOS ASTRONÓMICOS

Durante la realización de este trabajo tuvimos la oportunidad de observar cómo se captan algunas señales de fenómenos de origen solar en el observatorio del Gimnasio Campestre. Para complementar este trabajo se hizo una búsqueda de fenómenos astronómicos que generan señales audibles directa o indirectamente por el ser humano. Durante

estas sesiones se comprendió el proceso seguido por los radioastrónomos para captar estos sonidos, luego se hizo un análisis de cada uno de los sonidos recolectados, para lo cual tuvimos en cuenta varios aspectos como la identificación de cada uno de los sonidos recolectados y el estudio de parámetros musicales como intensidad, altura, frecuencia, duración, timbre, ataque, decaimiento, patrones rítmicos y otras características típicas de ellos.

Durante el análisis sonoro de los fenómenos se realizaron las siguientes etapas:

1. Recolección de diferentes sonidos astronómicos en la que se buscaron sonidos en páginas de internet especializadas (Jordell Bank Centre for Astrophysics, s.f.; Gurnett, s.f.).
2. Audición e identificación de las características propias de cada sonido. Para dicha identificación fue necesario establecer terminología musical aplicada a diferentes características sonoras que cada uno de los fenómenos astronómicos posee.

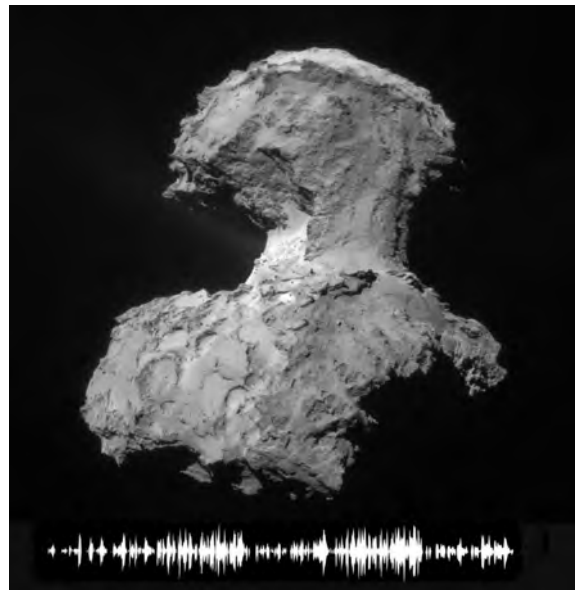


Imagen y sonido del Cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko captadas por la sonda Rosetta. Tomada de <http://www.space.com/>

3. Resultados del análisis. Los datos obtenidos se consignaron en una tabla de análisis sonoro diseñada para diferenciar las características individuales encontradas en cada uno de los fenómenos propuestos.

A partir de estos resultados iniciales se pudo concluir que los fenómenos astrofísicos poseen características sonoras complejas que dificultan su identificación y clasificación, aún con un entrenamiento auditivo previo.

SEGUNDA ETAPA: CREACIÓN DE UN INSTRUMENTO VIRTUAL

Durante esta etapa se hizo la recopilación, audición, selección, organización y análisis de los sonidos para la creación de un instrumento virtual que permitiera alcanzar el objetivo principal de esta investigación: crear una obra musical a partir del ensamble de sonidos del espacio.

Para llevar a cabo la creación de este instrumento virtual fue necesario conocer a fondo el software Logic Pro X (software que permite la organización y creación del Instrumento Virtual) por medio de un proceso teórico y práctico que nos condujo exitosamente a este objetivo (PC Magazine, 2016).

Para iniciar el proceso de elaboración del instrumento virtual los sonidos fueron agrupados según su frecuencia y características musicales como altura y timbre para lograr una clasificación objetiva. Después de analizar diferentes tipos de fuentes sonoras, y teniendo en cuenta que fueran audibles, se verificó la originalidad junto con especialistas en el tema. Una vez terminada la selección y clasificación de los sonidos se realizó el diseño y elaboración de un archivo en el cual quedaron organizados uno a uno según sus características y la posible ubicación en un controlador Midi de 48 teclas.

Para llevar a cabo el trabajo de "sampleo" fue necesario seguir un proceso de audición

selectiva del material sonoro y aprender el manejo de herramientas tecnológicas necesarias para llevar a cabo la creación del instrumento virtual.

En primer lugar se hizo una selección de fuentes sonoras de acuerdo a dos conceptos básicos: calidad sonora suficiente para un posterior uso y manipulación y selección de los fragmentos que contenían sonoridades claras e interesantes.

La selección se realizó a través de un proceso que tiene los siguientes pasos:

- a. Audición completa de las fuentes recolectadas
- b. Ubicación de los puntos climáticos de tensión, distensión y otras cualidades sonoras, requeridas para la extracción del punto como muestra o "sample" en cada uno de los canales
- c. Selección de fragmentos en donde se podía generar un loop
- d. Inclusión de las muestras realizadas en archivos sonoros
- e. Creación de la abreviatura adecuada para cada uno de los sonidos
- f. Análisis de función de la muestra en la tabla general de sonidos

TERCERA ETAPA: REALIZACIÓN DE LA MATRIZ DE ANÁLISIS SONORO

Para esta parte del trabajo se diseñó una tabla en donde se organizaron y clasificaron los sonidos. Para cada uno de los sonidos seleccionados se midieron sus frecuencias, texturas, motivos melódicos y otras variables. En este punto, 48 sonidos fueron clasificados en 10 diferentes carpetas de la siguiente manera:

1. Crackles: sonidos que producen un efecto de rompimiento o fractura
2. High Frequency: Sonidos que se encuentran entre 5000 y 20.000 MHz

3. Low Frequency: Sonidos que se encuentran entre 50 y 500 MHz
4. Mid frequency: Sonidos que se encuentran entre 500 y 5.000 MHz
5. Melodic: Sonidos que podrían generar gestos o motivos melódicos
6. Multitimbral: Sonidos en donde encontramos una variedad de texturas y eventos sonoros simultáneos
7. Oscillations: Sonidos que dan un efecto de movimiento
8. Pad: Sonidos que por su naturaleza dan una sensación armónica (acordes o colchón armónico)
9. Rhythmic: Sonidos que pueden dar una sensación rítmica constante
10. White Noise: Sonidos que son similares al ruido blanco

Para lograr una distribución eficaz de los sonidos se diseñó un sistema de abreviaturas complejo. Un ejemplo muy sencillo de este tipo de organización de fuentes sonoras se observa en la tabla 1 donde se puede evidenciar la carpeta a la que pertenece el fenómeno o fuente sonora y su posterior abreviatura.

En la casilla “fenómeno” se muestra el origen astronómico de la fuente sonora. La frecuencia nos indica en qué rango se encuentra cada uno de los sonidos (alto, medio o bajo). En la casilla “indeterminado” nos referimos a los sonidos que no pertenecen al sistema tonal occidental, por lo que son sonidos no temperados y se clasifican según el parecido onomatopéyico con sonidos naturales.

CUARTA ETAPA: ELABORACIÓN DEL INSTRUMENTO VIRTUAL

En esta etapa se construyó el instrumento virtual, lo que permitió que la obra fuera

creada, escrita e interpretada. Luego de buscar, escuchar, analizar y validar las diferentes fuentes sonoras se distribuyó cada uno de los sonidos en las 48 teclas del controlador. El instrumento virtual utilizado para este fin es el EXS24 que es un tipo de sampler contenido en Logic ProX (PC Magazine, 2016).

Inicialmente se abrió un canal al instrumento virtual en Logic ProX, luego se usó la opción ‘editar’, con el fin de crear nuestra propia librería, en donde encontramos una nueva interfaz visual en la que tuvimos la oportunidad de crear una zona para cada tecla de nuestro controlador. A continuación se muestra una gráfica en la que se puede observar la ventana de edición del EXS24.



Pantalla de EXS24

QUINTA ETAPA: PLANEACIÓN CONCEPTUAL DE LA OBRA

Para crear una obra musical hay que tener en cuenta varios aspectos que sirvan de apoyo en la planeación y estructuración de la misma. Por lo tanto es necesario abrir las posibilidades creativas para lograr un producto coherente y sustentado en una metodología de composición. Para ello se

CARPETA	Abreviatura	FENÓMENO	NOMBRE	FRECUENCIA	rit	INDETERMINADO	LOOP	TECLA	ABREVIATURAS
Crackles	crk	chorus (ch)	crk01-chE	380-7200 Hz	x	silvido	1		nombre carpeta#-fenomeno PLANETA

Tabla 1. Organización de las fuentes sonoras

agruparon las variables con el objetivo de obtener resultados ordenados y coherentes encaminados por el gusto y la estética del compositor.

Teniendo en cuenta que un alto porcentaje de las muestras sonoras recopiladas son sonidos no temperados (sin una altura definida), se tomó la decisión de buscar una escuela de composición que permitiera la exploración de sonidos llamados indeterminados, como la propuesta por la Segunda Escuela Vienesa del siglo XX (atonalismo, dodecafonismo y serialismo). Estos métodos de composición permitieron una exploración más profunda de los sonidos temperados y no temperados, dando así pautas para el desarrollo de la obra (Sarmiento, 2007).

Atonalismo, dodecafonismo y serialismo

Luego de indagar acerca de los lineamientos de esta escuela encontramos que las características principales en las cuales se fundamentan muchas de las obras de Alban Berg (1885-1935) y Anton Webern (1883-1945), y su maestro Arnold Schoenberg, son una extrema concentración del material sonoro en gestos musicales muy breves, y expresivamente recargados. La intensidad, acentuación, articulaciones y modo de ejecución están indicados con todo detalle, prácticamente para cada uno de los acontecimientos sonoros (Neighbour y Griffiths, 1986).

La sucesión y superposición de alturas de la obra se vio regida por un mismo conjunto acotado de secuencias interválicas. En el lugar de las estructuras armónicas funcionales nos encontramos frente a sonoridades solo vinculables entre sí a través de complejas abstracciones numéricas.

El marco del ritmo lo constituyen los compases tradicionales, pero el desplazamiento de los acentos y la ausencia de ritmo armónico

y centro tonal convierten al compás en una mera referencia para el ejecutante.

Planeación estructural y formal de la obra

Respecto al lenguaje compositivo que se adoptó para el desarrollo de la obra, se tuvieron en cuenta las variables sonoras que de una u otra manera cambian el contexto en el que se desarrolló la composición. Las escuelas compositivas mencionadas funcionan en un contexto de instrumentos musicales temperados o con alturas definidas, las cuales pueden generar sonidos normales para el oído del ser humano. Teniendo en cuenta el contexto sonoro en que nos encontramos, logramos establecer que el serialismo es posible aplicarlo en sonidos indeterminados, realizando ecuaciones con variables algorítmicas simples, aplicadas al manejo orquestal del instrumento virtual.

CONSTRUCCIÓN DE ECUACIONES COMPOSITIVAS

Una primera ecuación se plantea a partir de la creación de un sujeto (A), que es motivo principal y se encuentra con un contra-sujeto (B). A partir de este enunciado comenzamos a construir la ecuación según la interacción de estos dos personajes en un contexto sonoro diferente al usual. Por otro lado, se construyeron variables de acuerdo a las zonas de frecuencias Bajo (B), Bajo Medio (BM), Medio (M), Medio Alto (MA) y Alto (A). Otra de las variables a tener en cuenta fue la zona de registro de frecuencia en el instrumento virtual, en donde se hicieron grupos de 12 teclas (una octava del teclado), esta variable fue representada así: Octava 1 del instrumento =A, octava 2 = B, octava 3=C, octava 4=D.

Estas ecuaciones permiten la organización de cada uno de los sub-grupos ya mencionados contenidos en el instrumento virtual.

ESTRUCTURA GENERAL DE LA OBRA

La estructura de la obra tiene las siguientes partes: 1. exposición, 2. reexposición, 3. desarrollo, 4. reexposición 2 y 5. coda.

Composición y orquestación de la obra

La composición de la obra fue realizada por el Maestro Daniel Chebair, docente de música del Gimnasio Campestre. El proceso compositivo de esta obra fue peculiar, pues recordemos que trabajamos con sonidos "indeterminados" para el lenguaje musical actual. Por lo tanto fue necesario trabajar bajo parámetros predecibles, en donde el oyente encuentra puntos de relación entre la obra y lo que escucha normalmente. Lo anterior es planeado intencionalmente por el compositor para no generar rechazo en el oyente. El resultado es una obra musical de 7 minutos realizada a partir de muestras sonoras de diversos fenómenos astronómicos como chorus, whistlers, púlsares y cometas principalmente, logrando una obra con características seriales, combinada con elementos musicales contemporáneos.

CONCLUSIONES

Partiendo de la información recolectada en el trabajo de campo y el análisis sonoro realizado en el período 2014-2015 tenemos la certeza de que podemos responder la pregunta de investigación: *¿es posible generar un discurso musical a partir de los sonidos del espacio para producir una obra?*

Para responder a esta pregunta abordamos diversas temáticas tratadas durante el transcurso de la investigación. En primera instancia nos cuestionamos acerca de la oportunidad que la radioastronomía nos brinda gracias a la captación de sonidos inesperados para la creación de una obra musical, concluyendo así que los registros sonoros son de vital importancia para la renovación de recursos compositivos permitiendo la evolución de nuevos lenguajes musicales.

Otros aspectos que se desarrollaron fueron la selección, análisis y manipulación de estos sonidos a través de diferentes programas de audio como Logic ProX, en el cual se pueden usar procedimientos como muestreo y loops. Mediante estos procesos se produjeron los elementos necesarios para desarrollar un discurso musical coherente, es decir, la unión de elementos melódicos, armónicos y rítmicos a partir de sonidos del espacio. A continuación, fue necesario seguir un proceso de audición selectiva de material sonoro y aprendizaje del manejo de herramientas tecnológicas necesarias para llevar a cabo la creación del instrumento virtual.

Posteriormente se siguió un modelo de composición que permitiera la exploración de sonidos "indeterminados", como el atonalismo, dodecafonismo y serialismo. Estos métodos de composición permitieron una exploración más profunda de los sonidos temperados y no temperados, dando así pautas para el desarrollo de la obra.

Finalmente concluimos que gracias a la selección, organización y clasificación de sonidos, según las características físicas de cada una de las muestras tomadas, se obtuvo como resultado un instrumento virtual que se utilizó en la realización de la obra y posteriormente podría ser utilizado en trabajos interdisciplinarios en el aula. Se abre así la puerta para que los estudiantes en un futuro no muy lejano, puedan utilizarlo de una manera original e innovadora.

El resultado final es una obra musical de 7 minutos en donde interactúan sonidos indeterminados de diversos fenómenos astronómicos encontrados en la red, utilizados serialmente, combinando diferentes elementos musicales contemporáneos.

La obra puede ser escuchada en el siguiente sitio: <https://youtu.be/3EH-5R-brbc>.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El presente estudio fue realizado teniendo como referentes principales en relación con la elaboración composicional musical a los autores Arnold Schoenberg, Alban Berg y Jean Paul Jarre. Se reconoce que hay compositores y/o escuelas que no se han revisado en el presente estudio tales como: Krzysztof Penderecki, Panayiotis Kokoras, George Crumb y Tristan Murail.

LISTA DE REFERENCIAS

Radio Astronomy. Recuperado el 1 de septiembre de 2015 de <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/radio-astronomy>

ESO, (s.f.). Recuperado el 1 de septiembre de 2015 de http://www.almaobservatory.org/images/news-releases/docs/ALMA_manual_radioastronomia.pdf

Arkiteturaz. (2008). Recuperado el 1 de septiembre de 2015 de <http://arkitekturaz.wordpress.com/category/sampleo/>

Astronomía.com. (s.f.). Recuperado el 1 de septiembre de 2015 de <http://www.astromia.com/astrologia/radiohistoria.html>.

Bachiller, R. (2009). *El nacimiento de la Radioastronomía*. Recuperado el 7 de septiembre de 2016 de <http://www.elmundo.es/elmundo/2009/10/07/ciencia/1254911450.htm>.

Chambure, A. (1988). *La música y la electrónica*. La Música Librairie Larousse, Ed. Planeta.

Gubin, A. (2013). *Cinturón Van Allen: grandes descubrimientos del campo magnético de la Tierra*. Recuperado el 7 de septiembre de 2016 de <http://www.lagranepoca.com/29286-cinturon-van-allen-grandes-descubrimientos-del-campo-magnetico-tierra>.

Gurnett D. (s.f.) University of Iowa. *Polar Plasma Wave Investigation. Sounds of the Magnetosphere*. Recuperado el 7 de septiembre de 2016 de <http://www-pw.physics.uiowa.edu/plasma-wave/istp/polar/magnetosound.html>.

Howell, Steve (2005). *The Lost Art of Sample Part 1*. Recuperado el 7 de septiembre de 2016 de <http://www.soundonsound.com/techniques/lost-art-sampling-part-1>.

Jodrell Bank Centre for Astrophysics. (s.f.) *The Sounds of Pulsars*. Recuperado el 7 de septiembre de 2015: <http://www.jb.man.ac.uk/~pulsar/Education/Sounds/>

Kraus, J. (1986). *Radio Astronomy*. Ohio: Cygnus-Quasars Books. 2nd edition.

Moreno F., Rojas D. y Jordan A. (2006). Identificación de señales de radio solares en la frecuencia de 20.1 Mhz a partir de las observaciones del año 2005. *Revista El Astrolabio*. 6 (1), 8-18.

Nasa. (2016). *Polar Sound Descriptions. Whistlers*. Recuperado el 7 de noviembre de 2015 de: http://pwg.gsfc.nasa.gov/istp/polar/polar_pwi_descs.html#whistlers.

NCYT. (2016). El "sonido" del cometa Churyumov-Gerasimenko. Recuperado el 1 de septiembre de 2015 de <http://noticiadelaciencia.com/not/11962/el-ldquo-sonido-rdquo-del-cometa-churyumov-gerasimenko/>.

Neighbour, O. y Griffiths, Perle, G. (1986). *La Segunda Escuela Vienesa*. Muchnik: Muchnik Editores.

Sarmiento, P. (2007). *Dodecafonismo, atonalismo y serialismo*. Recuperado el 1 de septiembre de 2015 de www.sarmientomusica.com.

PC Magazine. (2016). *Definition of: virtual instrument*. Recuperado el 7 de mayo 2015 de <http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/65273/virtual-instrument>

FUENTES SONORAS

[CouderMaNn]. (2014, noviembre, 11). COMETA 67PChuryumovGerasimenko. Recuperado el 7 de noviembre de 2015 de: <https://www.youtube.com/watch?v=hdQZHb2saqc>.

[hryZuniK]. (2007, junio, 05) URANO. Recuperado el 7 de noviembre de 2015 de <https://www.youtube.com/watch?v=e3fqE01YYWs&list=PL8CB4C8286C2B0A0A>

[Chonko San]. (2009, enero, 29) JÚPITER. Recuperado el 7 de noviembre de 2015 de <https://www.youtube.com/watch?v=hkCaY2KxikM&list=PL8CB4C8286C2B0A0A&index=4>

[2015 2015]. (2008, abril, 12) UNIVERSO. Recuperado el 7 de noviembre de 2015 de https://www.youtube.com/watch?v=m_kFe6EpzLE&index=6&list=PL8CB4C8286C2B0A0A

[Cprocezz Diaz]. (2010, enero, 23) PULSAR. Recuperado el 7 de noviembre de 2015 de <https://www.youtube.com/watch?v=HSyRMotOhoM&index=7&list=PL8CB4C8286C2B0A0A>

[Jan jmr]. (2008, octubre, 25) QUASAR. Recuperado el 7 de noviembre de 2015 de <https://www.youtube.com/watch?v=h7TfNrIBKGI&list=PL8CB4C8286C2B0A0A&index=12>

[Jan jmr]. (2008, octubre, 25) ESTRELLA. Recuperado el 7 de noviembre de 2015 de <https://www.youtube.com/watch?v=h7TfNrIBKGI&index=12&list=PL8CB4C8286C2B0A0A>

[Cprocezz Diaz]. (2010, enero, 23) PULSAR DEL CANGREJO. Recuperado el 7 de noviembre de 2015 de: <https://www.youtube.com/watch?v=wJAuQVhoNkY&list=PL8CB4C8286C2B0A0A&index=9>

[Torven the Grey]. (2010, enero, 28) LUNA DE JÚPITER. Recuperado el 7 de noviembre de 2015 de <https://www.youtube.com/watch?v=phhUy1VsnG0&index=5&list=PLCA46603A3D5E12E1>

[The CienciaTV]. (2012, septiembre, 18) CHORUS. Recuperado el 7 de noviembre de 2015 de https://www.youtube.com/watch?v=0Scro6_vgxE

[Space Audio]. (2013, agosto, 01) WHISTLER. Recuperado el 7 de noviembre de 2015 de <https://www.youtube.com/watch?v=6hLS400X-yw>