

NEUROFONÍA: sonificación de las ondas cerebrales

Por:

Sara Quiroz Gómez

Propuesta de Trabajo de Grado presentada para optar al título de profesional en Artes de la Grabación y Producción Musical

Asesor(es)

Diego Alejandro Molina Quintero

Facultad de Artes y Humanidades

Artes de la Grabación y Producción Musical



Institución Universitaria

Medellín, Colombia

2025

NEUROFONÍA: Sonificación de las ondas cerebrales

Por:

Sara Quiroz Gómez

Propuesta de Trabajo de Grado presentada para optar al título de profesional en Artes de la Grabación y Producción Musical

Facultad de Artes y Humanidades

Artes de la Grabación y Producción Musical



Institución Universitaria

Medellín, Colombia

2025

RESUMEN:

El arte sonoro y la música electroacústica en Colombia comenzaron a desarrollarse en la década de 1970, alcanzando su auge en los años 90. Esto amplió las posibilidades de creación en el campo artístico y sonoro y en los últimos años, este movimiento ha tomado fuerza no solo con la apertura de espacios enfocados en su estudio, práctica y difusión, sino a través de las creaciones y exposiciones de artistas sonoros a nivel nacional e internacional.

En esta investigación se buscó resignificar un Video-electroencefalograma (EEG) de 72 horas realizado en el año 2015 mediante técnicas de arte digital, particularmente la sonificación de datos, para crear ocho piezas sonoras asociadas a las diferentes etapas del sueño monitoreadas.

Para llevar a cabo este proyecto se partió desde la investigación documental, la cual estuvo basada en el análisis de material audiovisual y escrito de artistas sonoros que realizaron estudios u obras relacionadas al funcionamiento de las ondas cerebrales. Esto permitió la fundamentación para el posterior desarrollo de las piezas sonoras realizadas a partir de los datos obtenidos a través del EEG este tomó elementos de programación creativa y síntesis, generando piezas sonoras que aludieron a las diferentes etapas del sueño.

Palabras clave: Sonificación - Música Electroacústica - Etapas del sueño - EEG - Programación creativa

Key words: Sonification - Electronic music - Sleep Stages - EEG - Creative code

OBJETIVO GENERAL:

Crear ocho piezas sonoras mediante la sonificación de datos obtenidos de un video-electroencefalograma (EEG) monitoreado durante 72 horas. Transformando las etapas del sueño en obras artísticas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar las técnicas de creación de artistas de música electroacústica que aborden la sonificación de ondas cerebrales para crear sonido.
- Explorar las metodologías de interpretación del electroencefalograma (EEG) para obtener datos relevantes para la sonificación.
- Investigar las técnicas de sonificación y manipulación sonora para representar cada etapa del sueño.
- Crear ocho piezas sonoras con los datos obtenidos de las diferentes etapas del sueño registradas durante el EEG, utilizando los softwares *Processing* y *Reaper* a través de MIDI.

Tabla de contenido

GLOSARIO O ACRÓNIMO DE PALABRAS	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTOS	7
INTRODUCCIÓN	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
REFERENTES TEÓRICOS Y ARTÍSTICOS	9
Música electroacústica	9
Sonificación	10
Programación creativa	11
ANTECEDENTES	12
Arte sonoro	13
Música electroacústica	14
METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN	16
Experimentación con software <i>Photosounder</i>	16
Interpretación de datos EEG en notas musicales	17
Piezas creadas en <i>PixelSynth</i>	19
Definición de parámetros de <i>PixelSynth</i>	19
Estadio N1: Somnolencia	22
Estadio N2: Sueño superficial	27
Estadio N3: Sueño profundo	32
Estadio R: Sueño REM	37
CONCLUSIONES	40
BIBLIOGRAFÍA	41

GLOSARIO O ACRÓNIMO DE PALABRAS:

- **EEG:** Video-electroencefalograma, examen médico que usa electrodos temporales para captar las ondas cerebrales en las diferentes etapas del sueño registradas durante 72 horas.
- **Estadíos:** Diferentes etapas del sueño a partir de las cuales se conceptualizan las piezas de la investigación.
- **Electrodos:** Conductor eléctrico usado sobre piezas o lugares no metálicos, usados en medicina y/o terapias.
- **F:** Ubicación del electrodo en el cuero cabelludo, zona lóbulo frontal.
- **T:** Ubicación del electrodo en el cuero cabelludo, zona lóbulo temporal, que se encuentra en la parte inferior del cerebro, cercano al puente tronco encefálico.
- **P:** Ubicación del electrodo en el cuero cabelludo, zona lóbulo parietal, se encuentra en la parte superior del cerebro.
- **O:** Ubicación del electrodo en el cuero cabelludo, zona occipital, se encuentra en la parte trasera del cerebro, cerca al cerebelo.
- **C:** Ubicación del electrodo en el cuero cabelludo, zona central.
- **FP:** Ubicación del electrodo en el cuero cabelludo, zona frontal polar, se encuentra cerca a la frente.
- **Z:** Ubicación del electrodo en el cuero cabelludo, zona de la línea media.
- **CSV:** Formato de almacenamiento de datos numéricos en grandes cantidades.
- **LoopMIDI:** Software para crear puertos MIDI virtuales
- **Sonificación:** Técnica que permite crear sonido a través de datos obtenidos en diversos formatos.
- **Reaper:** Estación de audio digital de código abierto en el cual se trabajará el sonido de cada pieza.
- **DAW:** Digital Audio Workstation - Estación de audio digital
- **Processing:** Software de programación de código abierto, en el cual se pueden programar desde visuales, hasta conexiones con otros softwares, se empleará para realizar la conexión con Reaper
- **Pixelsynth:** Software de sonificación que usa piezas visuales para generar sonido, desarrollado por Olivia Jack.
- **Analog Lab V:** Librería de sintetizadores, samples, arpegiadores y efectos de sonido desarrollado por la empresa Arturia y colaboradores.
- **MIDI:** Interfaz Digital de Instrumentos Musicales, es un protocolo de comunicación digital diseñado para transmitir información musical entre dispositivos electrónicos, como sintetizadores, computadores, controladores y otros instrumentos musicales.
- **OSC:** Open Sound Control, protocolo de comunicación entre dos o más dispositivos digitales.

En memoria de
Diego Gómez Restrepo
Gustavo de Jesús Quintero Morales

Por sus aportes en mi vida personal
y musical.
Y su importancia en la música
tropical de Medellín.

AGRADECIMIENTOS

Le doy agradecimientos a mi asesor de grado Diego Alejandro Molina Quintero por su paciencia y entrega durante la fase de investigación y por sus enseñanzas en la carrera, a mi familia, amigos y pareja por su apoyo, compañía y motivación durante estos años de estudio en el pregrado.

También a cada uno de los profesores que aportaron a mi crecimiento personal y profesional durante cada semestre, en especial para Rafael Otalora Arias, Jorge Mario Valencia, Daniel Londoño, Daniel Marín, Sebastián Lopera, Juan Pablo Hormiga, Juan Diego Blair y Juan David Manco.

Agradezco especialmente a mi madre, mi hermano y mi abuela por siempre apoyarme, a mi abuelo Álvaro Gómez Restrepo, mis tíos Diego Gómez, Osvaldo Gómez, Álvaro Gómez y Gustavo “El Loko” Quintero, por sus amplias enseñanzas durante mi infancia y a lo largo de mi carrera musical y a mi tío John Quiroz por creer siempre en mis capacidades durante esta larga trayectoria musical.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo documenta el proceso de-sonificación para la creación de piezas sonoras a partir de datos obtenidos a través de un video-electroencefalograma (EEG), resignificando la actividad cerebral registrada durante las distintas fases del sueño.

Durante la preadolescencia, la aparición de diversas sensaciones y emociones provocaron cambios drásticos en la vida cotidiana del sujeto de estudio, la autora del presente trabajo, lo que llevó a la realización de un proceso terapéutico y estudios médicos para identificar un diagnóstico de acuerdo a la sintomatología. En diciembre de 2015, se llevó a cabo un video-electroencefalograma (EEG) con monitoreo continuo de 72 horas para un análisis más detallado de la actividad cerebral.

Este proyecto tomó como referencia el trabajo realizado por el artista japonés Masaki Batoh, llamado *Brain Pulse Music*, en la cual se emplea un casco con sensores para captar ondas cerebrales de una mujer y generar sonido a tiempo real. Los cambios en la actividad cerebral eran provocados por pequeñas piezas visuales que él modificaba de manera progresiva variando la velocidad entre cada una. Si bien se asemeja al presente trabajo en la creación sonora a partir de la actividad cerebral, el enfoque varía en que la implementación se realizó después de registrar los datos y no a tiempo real.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde temprana edad la música y el sonido hacían parte de la cotidianidad de la autora, desde la práctica musical hasta la exploración sonora, construía pequeños instrumentos con diversos materiales o desarmaba objetos para crear unos nuevos, esto sin darse cuenta de que un juego de niños abarcaría el concepto de lo que se conoce como arte sonoro y música electroacústica.

En 2015, ante la aparición de síntomas como insomnio y alucinaciones, se realizó un video-electroencefalograma con el fin de encontrar un diagnóstico más acertado. Estos procesos generaron un acercamiento más profundo con la música debido a que era la única actividad posible de realizar durante este periodo de tiempo.

De acuerdo con esta experiencia, surge la pregunta: ¿Es posible resignificar el video electroencefalograma a través de la sonificación para crear piezas sonoras conceptualizadas en las diferentes etapas del sueño?

El ingreso al programa de Artes de la Grabación y Producción Musical facilitó un acercamiento a la música electroacústica, el arte sonoro y la programación creativa, permitiendo la exploración de nuevas formas de creación sonora. En este contexto, surgió el interés por las posibilidades artísticas de la sonificación. Dentro de las asignaturas de énfasis en música electroacústica, se realizó un primer experimento de sonificación utilizando datos de este EEG monitoreado, pero abordado desde un enfoque audiovisual para representar la actividad cerebral.

Con base en lo mencionado anteriormente, se encontró pertinente llevar a cabo la realización del presente trabajo de investigación, debido a que se pueden abordar otras técnicas de sonificación aprendidas en la línea de electroacústica de la carrera para crear piezas sonoras a partir de cada etapa del sueño.

REFERENTES TEÓRICOS Y ARTÍSTICOS

Arte sonoro

El arte sonoro es una práctica multidisciplinaria, que toma como elemento principal el sonido y posteriormente lo fusiona con elementos tales como artes, acústica, arquitectura, entre otros. El arte sonoro como concepto es algo que sigue siendo tema de debate acerca de su definición, sobre esto (Vélez, 2017, como se citó en Díaz y Cuervo, 2021) afirma:

No creo que haya una definición de lo que es el arte sonoro, sino que creo que cada artista tiene su propia definición, pero el arte sonoro es algo que puede vivir sin ser definido, la misma indefinición es lo que lo hace interesante y es una disciplina o línea de creación que fue inventada mucho antes de que apareciera su nombre. (p. 32)

Con base en lo mencionado anteriormente, se puede comprender el mundo de posibilidades creativas que abarca el arte sonoro y como esta puede tomar un significado

diferente de acuerdo con la percepción del artista, esto parte desde la concepción de obras con componentes físicos hasta la exploración exclusiva del sonido en contextos específicos, estas decisiones artísticas también se adaptan de acuerdo con el concepto que la obra busca transmitir.

Un ejemplo de esto es el trabajo: *Aplicación de la Sonificación de Señales Cerebrales en Clasificación Automática* (González et. al, 2015), una investigación que tiene un enfoque más científico de usar ondas cerebrales para realizar una sonificación, para su desarrollo se tomaron los datos de un EEG de personas con Alzheimer, a partir de los números arrojados, se llevaron a una transformación de tonos que posteriormente se convirtieron en sonido.

La relación de este trabajo con el presente es debido a las técnicas empleadas para convertir los datos que arroja el electroencefalograma a sonido, dirigiéndose hacia un producto más artístico que científico experimental.

Música electroacústica.

Sonificación

La música electroacústica es una de las disciplinas que hace parte del arte sonoro y se basa en las posibilidades de crear música a través de métodos no académicos o convencionales. En este campo musical existen subgrupos de estilos que se implementan, como es el caso de la Sonificación, un término que surge de la manipulación de los datos para hacer piezas sonoras. Estos pueden ser visuales, numéricos o escritos. En palabras de Ruíz et. al (s.f) “El término Sonificación puede definirse como la representación de la información usando el sonido, para facilitar la comprensión de los datos o los procesos de información mediante su escucha.” (p.1, s.f.)

Existen diversos artistas que hacen diferentes pruebas sonoras a través de la sonificación, como es el caso del artista japonés *Masaki Batoh* con su obra *Brain Pulse Music*, en esta pieza audiovisual se puede observar que el artista usó sensores para captar ondas cerebrales y usar a tiempo real esta información para hacer música. No obstante, todo este proceso va acompañado de él mismo frente a la persona mientras le pone piezas gráficas que provocan los cambios de información debido a la actividad cerebral que provoca el análisis de estas piezas.

La técnica utilizada en la pieza mencionada anteriormente se relaciona con la presente, ya que su objetivo principal es convertir señales de ondas cerebrales en sonido. No obstante, el tema diferencial con este trabajo es que no se utilizarán señales en tiempo real para llevar a cabo el proceso de sonificación; en este caso, se emplearon los datos de un EEG de monitoreo constante realizado durante 72 horas para la creación de piezas sonoras cortas.

Programación Creativa

El término programación creativa, es algo que lleva pocos años en ser implementado, surgió con la necesidad de que tener formas de enseñanza más eficaces de los lenguajes de programación, adicional a esto, también se ha hecho uso de este para nombrar las creaciones audiovisuales a través de líneas de código y sus conexiones con otros programas. Por otra parte, Pacheco et. al (2015), afirman que:

la programación creativa es un enfoque didáctico incluyente, dinámico, flexible e interesante que promueve el uso del software como un medio para representar expresiones originales y creativas, combinando un enfoque algorítmico de análisis, diseño y resolución de problemas, que termine por generar una solución creativa y factible de ser implementada en software. (p. 1)

Teniendo esto en cuenta, el uso de este término en campos artísticos ha tomado fuerza, específicamente con softwares, tales como: *Processing*, *Pure Data*, *Super Collider*, entre otros, que, aunque pueden funcionar para los mismos fines creativos, tienen diferentes lenguajes de programación. Por otra parte, a través de estas herramientas se pueden crear piezas gráficas y sonoras, mencionando los elementos gráficos se puede partir desde la creación de figuras geométricas básicas estáticas, hasta formas complejas que se muevan de manera controlada o aleatoria, incluyendo variaciones en tamaño y color, al mismo tiempo, es posible agregar sonidos sencillos que pueden ser de igual forma controlados o de manera aleatoria, asimismo se pueden hacer uso de canciones o sonidos ya listos, que pueden ser reproducidos desde el mismo software o haciendo conexión con DAW's , a través de lenguajes de comunicación tales como *OSC* o *MIDI*.

La mención de estas herramientas es fundamental para el desarrollo del presente trabajo, dado que se emplearon recursos digitales para la creación de las piezas conceptualizadas en las etapas del sueño, tomando como base la programación creativa a través del software *Processing* y que posteriormente éste enviará a través de MIDI el sonido hacia *Reaper*.

ANTECEDENTES

Arte sonoro

Entre el arte sonoro y la música: panorama en Colombia, Jorge Mario Díaz Matajira, Roberto Cuervo Pulido, Alejandro Brianza, Rodrigo Díaz Sánchez, Gina Paola Mesa Ruiz, Efraín Fernando Durán Céspedes, 2021.

Este artículo permite hacer un análisis del arte sonoro, la visión de este campo en el ámbito musical y cómo este genera un conflicto que ha permitido dar surgimiento a nuevas formas de manifestación artística, incluyendo una sistematización de obras e información de artistas sonoros en Colombia. Asimismo, los autores hicieron una investigación que incorpora en qué sectores está presente el arte sonoro en Colombia, realiza una clasificación de las diferentes ramas que lo conforman y cómo este puede tener, de igual forma, presencia en festivales. Este artículo es un aporte importante, ya que aclara las diversas prácticas que existen dentro del arte sonoro, incluyendo la sonificación como método para crear piezas sonoras de cualquier tipo: experimental o musical.

Marimonda Sketches, Juan Reyes, 2007.

Marimonda Sketches es una práctica de arte sonoro que Juan Reyes menciona como imagen auditiva, esta toma como concepto la danza de la Marimonda del Carnaval de Barranquilla, pero su expresión sonora se basó más en la programación y electrónica, para implementar en la creación de la obra Marimonda Sketches, osciladores, generadores de armónicos y otras formas de generar sonido, que permitieran así crear música desde lo electrónico. La expresión sonora de la obra se asemeja con esta investigación, ya que el compositor logró tomar un concepto para desarrollarlo con otro de creación musical, incluyendo líneas de código de programación creados por él mismo.

Cantos de la Creación de la Tierra, Jacqueline Nova, 1972.

Es una obra creada por Jacqueline Nova, pionera de la música electroacústica en Colombia, para la realización, la compositora tomó escritos de una comunidad indígena de Boyacá, para luego usarlas como único elemento en una composición de experimentación sonora, la información de dicho texto era un lenguaje antiguo de los chibchas, los cuales eran empleados para cantos rituales. Los métodos empleados para la realización fueron cantos

indígenas, sonidos percutivos y manejo de pedales. Con lo mencionado anteriormente, se puede relacionar dicha obra con la investigación, ya que se realiza una hibridación a la hora de componer. En el caso de la presente, se tomaron datos de un EEG para la creación de estos sonidos.

Música electroacústica

Expresiones populares en la música electroacústica latinoamericana: la inclusión de músicas de tradición popular en la composición electroacústica, Felipe Corredor Téllez, 2016.

A través de esta investigación, el autor busca dar un mayor reconocimiento a las formas de creación musical electroacústica, comprendiendo así sus orígenes, influencias, su relación con las músicas populares y cómo esto se comenzó a aplicar en Latinoamérica. El autor basó su investigación en una exploración sonora a partir de una recopilación de obras de compositores de música electroacústica de América Latina, nombrando así la importancia a otras formas de creación y composición musical. Este tema se diferencia de esta investigación, ya que el autor lo aborda desde una perspectiva teórica musical, considerando la música electroacústica como una posibilidad compositiva tan relevante como la música tradicional.

La música electroacústica mixta: el intérprete y los desafíos de la praxis musical contemporánea, Iracema De Andrade, 2013.

En esta investigación se aborda la música electroacústica desde un punto de vista más analítico. La autora busca debatir dicho estilo musical para ampliar y fortalecer el campo de la música electroacústica, esto a través de metodologías para la enseñanza y la correcta

práctica por parte de los intérpretes interesados en este ámbito musical. El objeto de estudio de este trabajo, explora las formas de comprender y emplear las prácticas de la música electroacústica, para proporcionar una mayor visibilidad a otras formas de creación sonora aplicadas a la actualidad.

UNIVERS IN MUSICA [sic], Ernesto Santos Cano, 2018.

Es una obra electroacústica que busca representar temas existenciales personales, naturaleza y hasta una conexión casi espiritual, para el desarrollo de dicha obra, el autor hace énfasis en que la composición ha sido realizada en su totalidad con post producción de audio, a partir de manipulación y edición de sonidos. Si bien el impacto de la obra de Santos es un tema personal, este puede tener similitud al presente trabajo ya que busca materializar un concepto a través de música no convencional.

Jacqueline Nova: la pionera de la música electroacústica en Colombia, Daniela Castro, 2017.

El artículo hace referencia a la artista sonora Jacqueline Nova, la persona considerada pionera de la música electroacústica en Colombia ya que sus inicios se remontan a los años 60's. Así mismo, se menciona su obra y aporte a este campo musical, ya que ella realizó una exploración sonora con diferentes elementos electrónicos y a su vez, implementó una hibridación con instrumentos tradicionales, para romper con las formas de composición musicales comunes. Conocer la historia y las formas de creación de Nova, permite dar un punto de vista general sobre las diversas formas de creación musical electroacústica que se han trabajado en Colombia y establecer de qué manera fueron implementadas. En la investigación mencionada se buscó crear o intervenir directamente un instrumento musical, se diferencia con el presente debido a que la creación se basó en realizar piezas sonoras a partir de datos.

Sense: an electroacoustic composition for surround sound and tactile transducers, Panayiotis Kokoras,2014.

Sense, 2014, es una obra de música electroacústica compuesta por Panayiotis Kokoras de *University of North Texas*, habla sobre la construcción de un dispositivo para sonido, el cuál funciona a través de transductores táctiles y con el cuál ellos esperaban proporcionar al oyente una experiencia auditiva de tema holístico. La metodología que se implementó para la creación fue el audio procedural, la cual busca generar sonidos en tiempo real y a su vez, la creación musical a partir de la manipulación de los transductores para emitir diversos sonidos. Esta obra se relaciona con esta investigación, ya que usan la construcción y manipulación de dispositivos electrónicos para crear música, se diferencia con el presente en los métodos empleados para generar sonido.

METODOLOGÍA

Prueba 1 de sonificación: Software *Photosounder* versión demo

Se realizó la prueba demo de *Photosounder* para la exploración de la sonificación a través de la lectura de imágenes con diferentes modificaciones de parámetros en las cuales se incluyeron filtros, cambios en la amplitud, alteraciones de acuerdo con la gama de colores en RGB o en escala de grises, la rotación de la imagen dentro del software, que podían ser en modo espejo, al revés tanto vertical como horizontal.

1. Se tomó foto del recuadro de la etapa de Estadio N1: Somnolencia del EEG, para la realización de la prueba, en este caso se usó la imagen con variaciones en la gama de colores.

- **F:** Zona lóbulo frontal.
- **T:** Zona lóbulo temporal, que se encuentra en la parte inferior del cerebro, cercano al puente tronco encefálico.
- **P:** Zona lóbulo parietal, se encuentra en la parte superior del cerebro.
- **O:** Zona occipital, se encuentra en la parte trasera del cerebro, cerca al cerebelo.
- **C:** Zona central.
- **FP:** Zona frontal polar, se encuentra cerca a la frente.
- **Z:** Zona de la línea media.

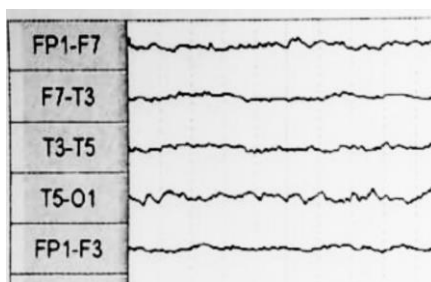
Figura 2. Documento “Enciclopedia Humanidades”



Nota. Figura extraída de la Enciclopedia Humanidades, (s.f.)

Los datos numéricos fueron organizados en formato CSV separado por comas para llevarlos a *Processing*, estos se tomaron a partir de la ubicación de los electrodos y de manera conceptual se distribuyeron los datos numéricos de acuerdo al rango que tenía cada canal para tener sonidos que fueran manipulables, poniendo como ejemplo el **Estadio N1: Somnolencia**, en el primer canal llamado FP1-F7, se tomaron sonidos entre 1 y el 7 de manera aleatoria a partir escala de Fa menor natural con un tempo de 60 BPM, de esta manera se pudo generar una sensación tranquila, conceptualizando la somnolencia, etapa inicial del sueño.

Figura 3. EEG Estadio N1: Somnolencia



Nota. Figura obtenida directamente del video-electroencefalograma,2015.

Figura 4. Conversión de datos a notas musicales

FP1-F7	NOTA
1	F
7	Eb
3	Ab
5	C
6	Db
4	Bb
7	Eb
4	Bb
5	C
7	Eb

Nota. Elaborado en el software Excel por el autor.

Piezas creadas en *PixelSynth*:

PixelSynth es un software virtual de uso gratuito que permite crear piezas de sonificación a través de la lectura de imágenes, estas pueden ser modificadas con diferentes parámetros que incluye el software, estos se dividen en 3 columnas: ***Image***, ***Sound*** y ***Draw***.

Primera columna: *Image*.

En la primera columna llamada ***Image*** se encuentran los parámetros que permiten modificar la visualización de la imagen que se empleó para reproducir el sonido.

Dentro de estos parámetros se puede encontrar diversas formas de interpretar la imagen, cambiando su brillo, polaridad, cantidad de copias o ubicación espacial.

Figura 5. Columna *Image* en *PixelSynth*



Nota. Figura obtenida de la página *PixelSynth*, Olivia Jack, (s.f.)

Las funciones de los parámetros ubicados en la primera columna de *PixelSynth* son:

Invert: Se puede emplear para cambiar la imagen original a negativo.

Brightness, contrast: Permite variar la interpretación de brillo y contraste de la imagen

Repetitions, spacing y offset: Crear diferentes repeticiones de la imagen y permite cambios en su ubicación.

Rotation: Se usa para manipular la rotación de la imagen en los 360°.

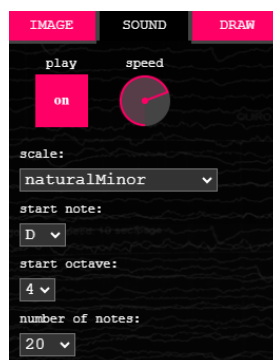
Clear background: Reestablece la imagen original.

Segunda columna: *Sound.*

En la segunda columna podemos ubicar todos los parámetros que nos permitió sonificar la pieza visual. Sus parámetros pueden variar entre la forma que el software

leerá la imagen en velocidad, hasta la tonalidad, octava y cantidad de notas entre octavas.

Figura 6. Columna *Sound* en *PixelSynth*



Nota. Figura obtenida de la página *PixelSynth*, Olivia Jack, (s.f.)

Entre sus parámetros podemos encontrar:

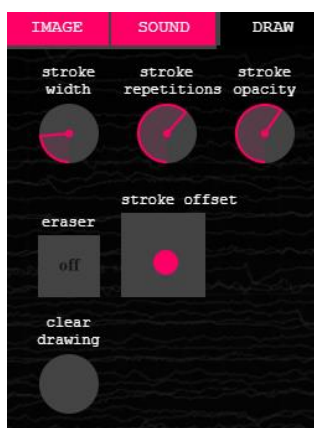
Play y *Speed*: Con estos parámetros se inicia y se detiene la lectura de la imagen o puede cambiar la dirección de interpretación (si se lee de izquierda a derecha o en reversa).

Scale, *start note*, *start octave*, *number of notes*: Con estos parámetros se hace uso exacto de la manera en la que se interpretarán estos datos de la imagen, cualquier tipo de escala, nota, octava o cantidad notas que se emplearán.

Tercera columna: *Draw*.

En la tercera columna se puede modificar la imagen con dibujos realizados manualmente sobre ella. Sus parámetros son más reducidos, sus funciones varían entre la posibilidad de cambiar el grosor, la opacidad y la cantidad de líneas dibujadas con el lápiz hasta cambiar su ubicación espacial.

Figura 7. Columna *Draw* en *PixelSynth*

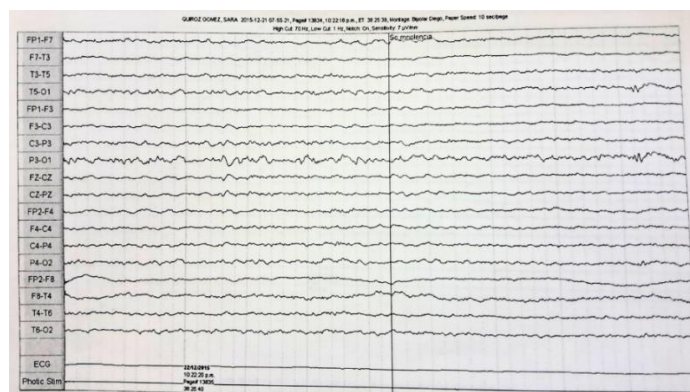


Nota. Figura obtenida de la página *PixelSynth*, Olivia Jack, (s.f.)

Estadio N1: Somnolencia (*Processing* y *Reaper*)

1. Para la primera pieza se usó la escala de Fa menor natural, con un tempo de 60 BPM, generando una sensación de plenitud en esta primera etapa del sueño que indica el momento de paso de la vigilia al sueño.

Figura 8. Estadio N1: Somnolencia



Nota. Figura obtenida directamente del video-electroencefalograma, 2015.

2. Los datos numéricos se organizaron de acuerdo con el rango de cada canal en una tabla de Excel, para definir que notas se emplearán en cada canal y en el caso de los que únicamente tienen letras, se asignarán en toda la escala de 1 al 7:

Figura 9. Tabla de Excel con conversión de datos a notas musicales

FP1-F7	NOTA	T3-T5	T5-O1	FP1-F3	F3-C3	C3-P3	P3-O1	FZ-OZ	OZ-PZ	FP2-F4	F4-C4	C4-P4	P4-O2	FP2-F8	F8-T4	T4-T6	T6-O2
1	F	5	5	3	1	3	1	1	7	4	4	1	2	5	8	4	6
7	G	5	1	1	3	1	2	5	4	3	1	4	4	4	3	5	3
3	E	3	3	2	1	3	3	5	2	4	1	3	3	4	6	2	
5	F	3	3	1	3	1	3	5	4	3	1	4	3	5	5	5	4
6	Bb	4	2	1	1	3	2	4	1	2	4	1	4	7	6	4	5
4	D	5	1	1	3	1	1	7	2	3	1	4	3	3	2	4	2
7	C	4	4	3	1	3	2	6	3	4	4	1	3	4	1	6	3
4	Bb	3	3	2	3	1	1	4	7	3	1	4	4	2	8	5	5
5	A	4	5	2	1	3	2	2	6	3	4	1	4	6	3	4	2
7	C	5	2	3	3	1	1	3	7	2	1	4	3	7	4	6	6

Nota. Elaborado en el software Excel por el autor.

3. Para las visuales se realizó en el código de *Processing* círculos con variaciones en color, opacidad, tamaño y ubicación para acompañar el concepto de la plenitud en esta primera etapa de sueño que es la somnolencia, un momento donde el llamado del cuerpo invita a descansar. Para reproducir el sonido se realizó la conexión entre *Processing* y *Reaper* a través de MIDI y el código empleado fue el siguiente:

Figura 9. Código en *Processing* Estadio N1: Somnolencia

```

ESTAD_A_N1__SOMNOLENCIA
import themidibus.*;

MidiBus midi;

String estadiosomnolencia;
String[] d;
int[] digit;
int pitch;
int x = 1;
int [] tempo = {1000,500,333,250}; //1 2 3 4 BPM= 60

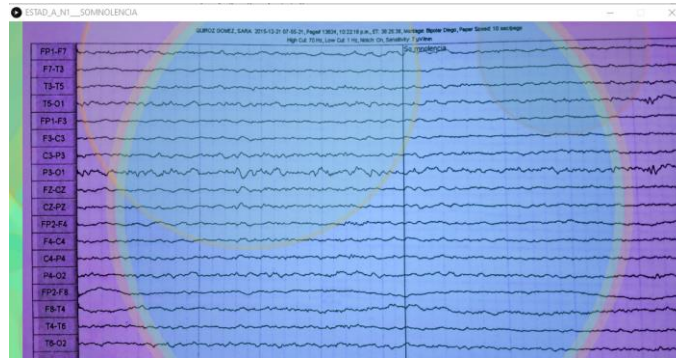
void setup(){
  size(1000,500);
  PImage img;
  img = loadImage("somnolencia.jpg");
  image(img, 20, 0);
  colorMode(RGB,255, 100, 100);
  background(0);
  estadiosomnolencia = loadStrings("estadiosomnolencia.csv")[0];
  d = estadiosomnolencia.split("");
  digit = int(d);
  midi = new MidiBus(this,"Bus 1", "Bus 1");
}

void draw(){
  PImage img;
  img = loadImage("somnolencia.jpg");
  image(img, 20, 0);
  if (digit[x] == 0) pitch = 53;
  if (digit[x] == 1) pitch = 51;
  if (digit[x] == 2) pitch = 56;
  if (digit[x] == 3) pitch = 48;
  if (digit[x] == 4) pitch = 49;
  if (digit[x] == 5) pitch = 59;
  if (digit[x] == 6) pitch = 48;
  midi.sendNoteOn(0, pitch,127);
  delay(tempo[int(random(tempo.length))]);
  midi.sendNoteOff(0,pitch,127);
  if (x > digit.length - 1) x= 0 ;
  x++;
  fill(random(0,360),50);
  strokeWeight(6);
  stroke(#C16969,60);
  ellipse(random(width),random(height),250,250);
  fill(random(0,360),60);
  strokeWeight(7);
  stroke(#FFB885,60);
  ellipse(random(width), random(height),500,500);
  fill(0, 191, 255,60);
  strokeWeight(random(0,500));
  stroke(#E9ED30,40);
  ellipse(random(width), random(height),750,750);
}

```

Nota. Figura obtenida del software *Processing* por la autora.

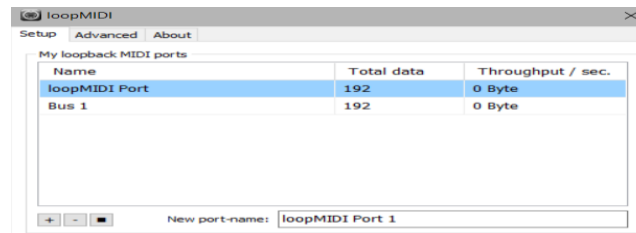
Figura 10. Visual en *Processing* Estadio N1: Somnolencia



Nota. Figura obtenida del software *Processing* por la autora.

5. Los canales en *Reaper* para cada pieza, se organizaron de acuerdo con la ubicación de los electrodos en el cuero cabelludo y se asignó un sintetizador diferente dentro de *Analog Lab V*. Para la realización de la conexión MIDI entre *Processing* y *Reaper*, se usó el software *LoopMIDI Port*, para crear un puerto virtual:

Figura 11. Software *LoopMIDI Port*

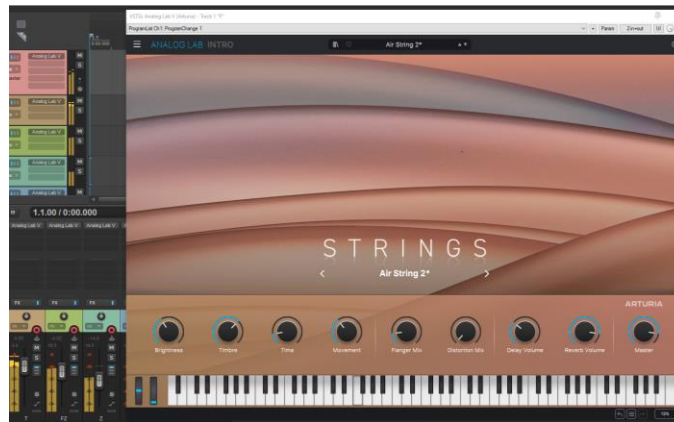


Nota. Figura obtenida del software *LoopMIDI Port* por la autora.

6. En la sesión de *Reaper* se ubicaron 7 canales que indican cada una de las notas que se arrojarán desde *Processing*, se usaron diferentes capas de sintetizadores para generar un ambiente similar al creado en la música inmobiliaria, tipo de creación musical que se caracteriza por ambientar un espacio generando una atmósfera de calma. Dentro de cada sintetizador se modificaron específicamente los parámetros de

tiempo para disminuir la velocidad de interpretación de cada nota, por otra parte, la reverberación y el *delay* para crear una atmósfera más onírica.

Figura 12. Software *Analog Lab V* en *Reaper*, Estadio N1: Somnolencia

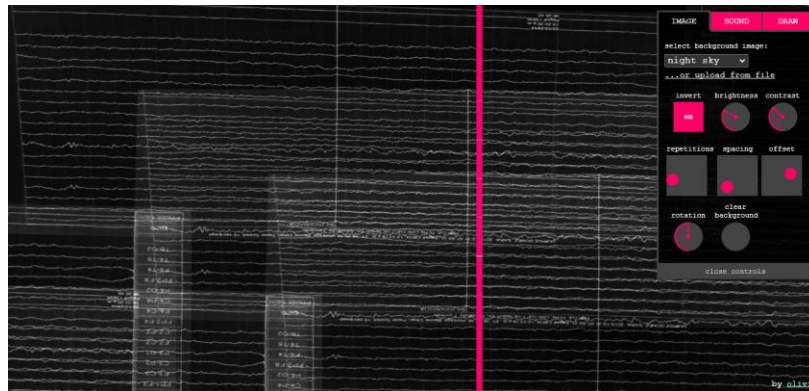


Nota. Figura obtenida del plugin *Analog Lab V* por la autora.

Estadio N1: Somnolencia (*PixelSynth*)

1. La segunda pieza del Estadio N1: Somnolencia, fue realizada con el software virtual *PixelSynth*, en los cuáles se empleó la misma tonalidad que en la pieza creada con Processing y *Reaper* para tener los mismos datos con una técnica de sonificación diferente.
2. En la columna *Image*, se invirtió la imagen del EEG a negativo para que se realizara la sonificación de cada línea que representa la ubicación de los electrodos en el cuero cabelludo, se redujo el brillo y el contraste para que la lectura de cada línea blanca fuera precisa. Por otra parte, en la repetición, espacialidad y desplazamiento se crearon varias copias en una ubicación cercana para obtener una sonoridad más armoniosa.

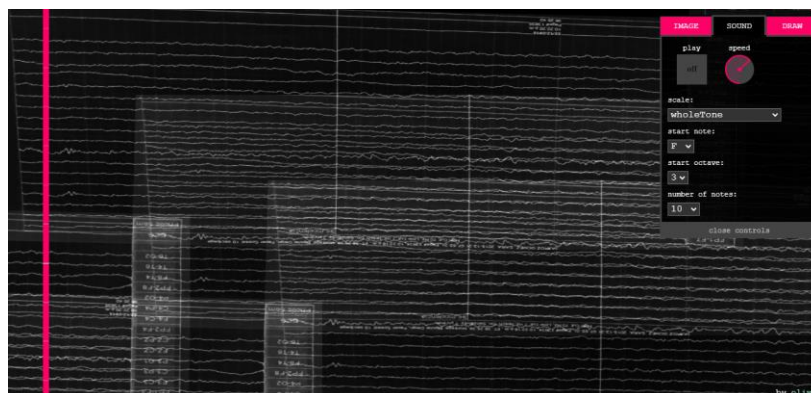
Figura 13. Software *PixelSynth*, Estadio N1: Somnolencia



Nota. Figura obtenida de la página *PixelSynth* por la autora.

2. En la columna *Sound* se modificaron los parámetros a la tonalidad Fa menor en *WholeTone*, partiendo desde la tercera octava y realizando interpretación aleatoria entre 10 notas de la misma tonalidad, su velocidad fue lenta para que sonara más acorde al concepto de la somnolencia.

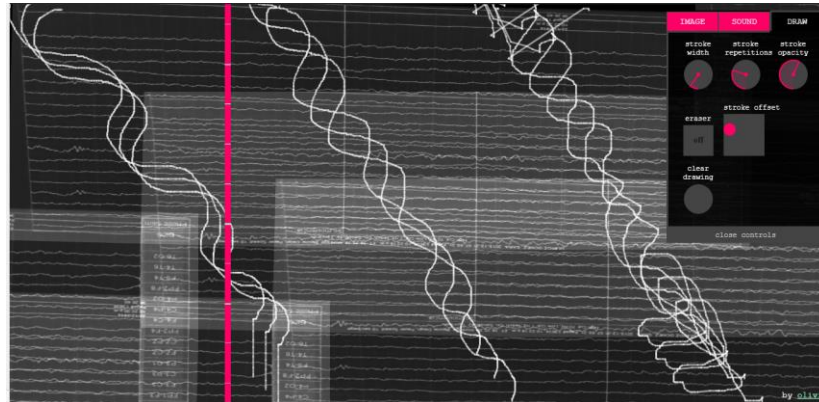
Figura 14. Interpretación sonora en *PixelSynth* de la pieza Estadio N1: Somnolencia



Nota. Figura obtenida de la página *PixelSynth* por la autora.

4. Por último, la columna *Draw* se dibujaron ondas entrelazadas en diferentes ubicaciones de la imagen para que la lectura generara cortas melodías.

Figura 15. Interpretación de ondas en *PixelSynth*, Estadio N1: Somnolencia

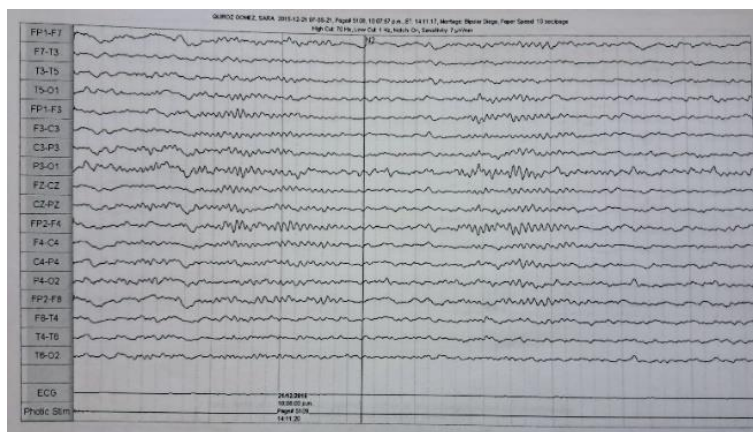


Nota. Figura obtenida de la página *PixelSynth* por la autora.

Estadio N2: Sueño superficial (*Processing* y *Reaper*)

1. Durante esta segunda fase del sueño, se registró poca actividad cerebral, debido a que es la etapa que antecede al sueño profundo, por ende, se buscó que su sonoridad se encuentre entre el clímax y la tensión, para generar una sensación de fluctuación entre la vigilia y el sueño profundo.

Figura 16. Estadio N2: Sueño Superficial



Nota. Figura obtenida directamente del video-electroencefalograma, 2015.

2. Para esta fase del sueño se tomaron los datos numéricos de la tonalidad en el rango que indicaba cada canal del EEG, estas notas varían de manera aleatoria dentro de la escala de Sol menor melódica.

Figura 17. Tabla de Excel con datos numéricos

FP1-F7	NOTA	T3-T5	T5-O1	FP1-F3	F3-C3	C3-P3	P3-O1	FZ-CZ	CZ-PZ	FP2-F4	F4-C4	C4-P4	P4-O2	FP2-F8	F8-T4	T4-T6	T6-O2
4 C		4	5	3	3	1	1	1	7	2	4	1	4	5	8	4	3
1 G		3	1	1	1	3	1	5	4	3	1	4	4	4	3	5	3
2 A		3	3	2	3	1	1	4	6	4	4	1	4	3	4	6	5
7 F#		5	3	1	1	3	2	5	4	4	1	4	2	5	5	5	2
6 E		4	2	1	3	1	3	4	2	3	4	1	3	7	6	4	2
7 F#		4	1	1	1	3	2	7	2	3	1	4	2	3	2	4	3
4 C		5	4	3	3	1	3	3	5	4	4	1	2	4	1	6	5
5 D		5	3	2	1	3	2	7	6	2	1	4	3	2	8	5	5
5 D		4	5	2	3	1	2	6	6	3	4	1	2	6	3	4	2
3 Bb		3	2	3	1	3	3	3	7	2	1	4	4	7	4	6	6

Nota. Elaborado en el software Excel por el autor.

3. Para esta etapa del sueño se realizó una visual sencilla de círculos entrelazados, simulando la respiración y una esfera moviéndose de manera aleatoria en el eje X para recrear las distracciones que pueden llegar a afectar el sueño superficial, durante el EEG, debido a que se hace uso de pequeñas luces que van sobre los párpados de derecha a izquierda, por tal motivo, la esfera en la visual es de color amarillo, el código que fue empleado es el siguiente:

Figura 18. Código en *Processing* Estadio N2: Sueño Superficial

```

ESTAD_A_N2__SUPERFICIAL
import themidibus.*;

MidiBus midi;

String suenosuperficial;
String[] d;
int[] digit;
int pitch;
int x = 1;
int [] tempo = {750,375,250,180}; //1 2 3 4 BPM= 80

void setup(){
  size(1000,500);
  PImage img;
  img = loadImage("suenosuperficial.png");
  image(img, 20, 0);
  colorMode(RGB,255, 100, 100);
  background(0);
  suenosuperficial = loadStrings("suenosuperficial.csv")[0];
  d = suenosuperficial.split(",");
  digit = int(d);
  midi = new MidiBus(this, "Bus 1", "Bus 1");
}

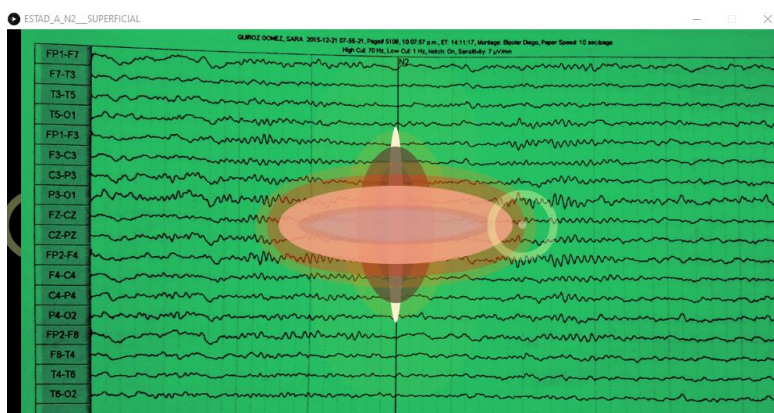
void draw(){
  PImage img;
  img = loadImage("suenosuperficial.png");
  image(img, 20, 0);
  if (digit[x] == 0) pitch = 67;
  if (digit[x] == 1) pitch = 69;
  if (digit[x] == 2) pitch = 70;
  if (digit[x] == 3) pitch = 72;
  if (digit[x] == 4) pitch = 74;
  if (digit[x] == 5) pitch = 76;
  if (digit[x] == 6) pitch = 78;
  midi.sendNoteOn (0, pitch,127);
  delay(tempo[int(random(tempo.length))]);
  midi.sendNoteOff(0,pitch,127);
  if (x > digit.length - 1) x = 0 ;
  x++;
  fill(random(0,360),1000);
  strokeWeight(200);
  stroke(#FFEB0D,10);
  ellipse(width/2,height/2,20,250);
}

fill(random(0,360),200);
strokeWeight(40);
stroke(#FFB30D,40);
ellipse(width/2,height/2,100,200);
fill(random(0,360),200);
strokeWeight(60);
stroke(#FF820D,60);
ellipse(width/2,height/2,300,100);
fill(random(0,360),100);
strokeWeight(80);
stroke(#FF250D,80);
ellipse(width/2,height/2,250,50);
fill(random(0,360),100);
strokeWeight(80);
stroke(#DD08FF,100);
ellipse(random(width),height/2,10,10);
}

```

Nota. Figura obtenida del software *Processing* por la autora.

Figura 19. Visual en *Processing* Estadio N2: Sueño Superficial



Nota. Figura obtenida del software *Processing* por la autora.

4. Para esta pieza se usaron sintetizadores de cuerdas, órgano y arpegiadores, para lograr la mezcla sonora de ambientes de tensión y clímax, se modificaron los parámetros de tiempo, brillo, repeticiones y efectos para generar diferentes matices y entre los diferentes instrumentos.

Figura 20. Parámetros plugin *Analog Lab V* para Estadio N2: Sueño Superficial



Nota. Figura obtenida del plugin *Analog Lab V* por la autora.

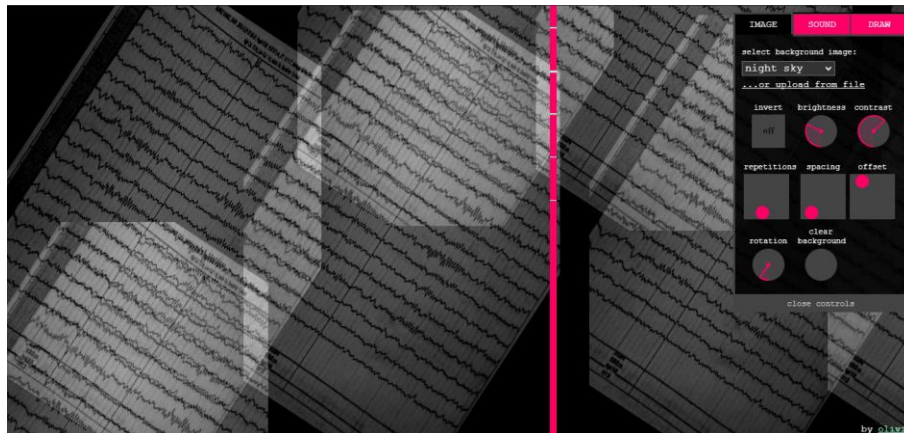
Estadio N2: Sueño superficial (*PixelSynth*)

1. La segunda pieza del Estadio N2: Sueño superficial, al igual que en la primera pieza, se conservó la tonalidad de Sol menor armónica:

Sol – La – Sib – Do – Re – Mi – Fa#

2. En la columna *Image*, se conservó la imagen original del EEG sin modificaciones, para generar un color diferente al que se obtiene invirtiéndolo a negativo, se redujo el brillo y se aumentó el contraste para que la lectura de cada zona de más brillo fuera más melódica. Adicionalmente, en la repetición, espacialidad y desplazamiento se crearon copias con la imagen en diagonal para darle dinámica a la pieza y evitar un sonido plano.

Figura 21. Interpretación visual en *PixelSynth* de la pieza Estadio N2: Sueño Superficial



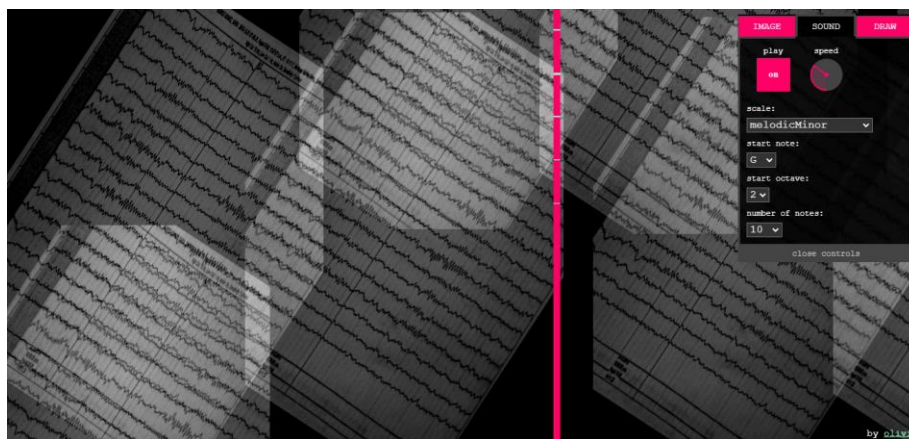
Nota. Figura obtenida de la página *PixelSynth* por la autora.

2. En la columna *Sound* se modificaron los parámetros a la tonalidad de Sol menor armónica, partiendo desde la segunda octava y realizando interpretación aleatoria

entre 10 notas, su velocidad fue lenta y en reversa para generar un ambiente de mediana tensión

Figura 22. Interpretación sonora en PixelSynth de la pieza Estadio N2: Sueño

Superficial

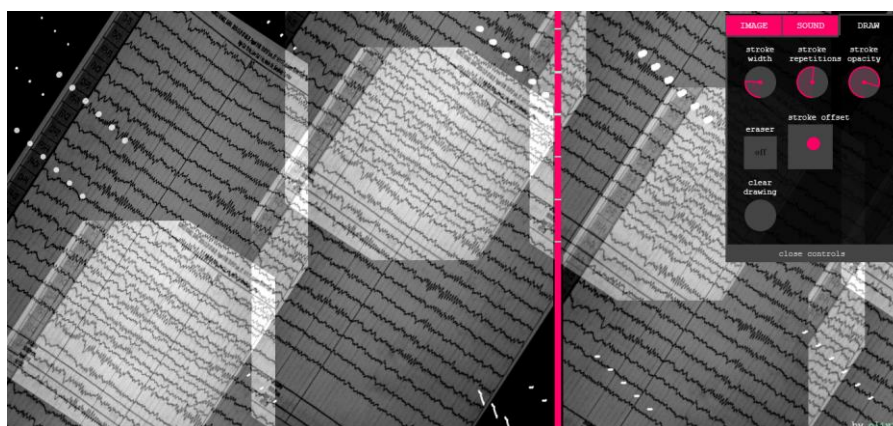


Nota. Figura obtenida de la página *PixelSynth* por la autora.

4. Por último, la columna *Draw* se dibujaron puntos en las zonas más oscuras con diferente grosor y opacidad para generar intervenciones cortas de sonidos aleatorios.

Figura 23. Interpretación de ondas en *PixelSynth* de la pieza Estadio N2: Sueño

Superficial

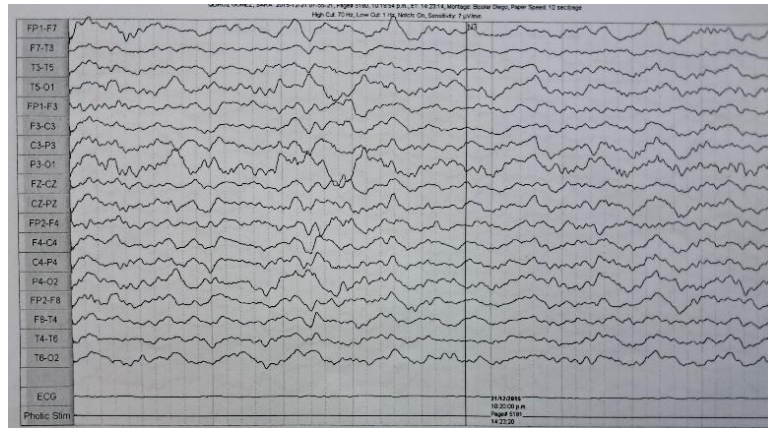


Nota. Figura obtenida de la página *PixelSynth* por la autora.

Estadio N3: Sueño profundo (*Processing y Reaper*)

1. Durante esta tercera fase del sueño profundo, se buscó generar una sonoridad de tensión y sonidos estridentes, debido a que fue la etapa en la que más actividad cerebral se registró. Por tal motivo, los sonidos empleados fueron en su mayoría arpegiadores y bajo.

Figura 24. Estadio N3: Sueño Profundo



Nota. Figura obtenida directamente del video-electroencefalograma, 2015.

2. Los datos numéricos se organizaron de la misma manera que las demás piezas, pero modificando la tonalidad y aleatoriedad de las notas en cada canal.

Figura 25. Tabla de Excel con conversión de datos a notas musicales

FP1-F7	NOTA	T3-T5	T5-O1	FP1-F3	F3-C3	C3-P3	P3-O1	FZ-CZ	CZ-PZ	FP2-F4	F4-C4	C4-P4	P4-O2	FP2-F8	F8-T4	T4-T6	T6-O2
1	Bb	4	5	1	3	1	3	6	2	3	4	4	3	7	4	6	6
5	F	5	1	2	1	3	2	4	3	2	1	1	2	2	7	6	2
4	Eb	4	4	3	3	1	1	5	1	4	4	4	3	3	2	5	5
5	F	3	4	3	1	3	2	3	7	3	1	1	4	4	6	4	2
2	C	4	3	2	3	1	3	7	6	2	4	4	3	5	5	5	2
7	A	3	1	1	1	3	1	1	5	3	1	1	4	3	1	4	3
3	D	4	5	3	3	1	2	2	4	4	4	4	2	4	1	6	6
7	A	5	3	2	1	3	3	7	4	2	1	1	3	2	2	4	5
6	G	4	1	1	3	1	2	6	5	4	4	4	2	6	3	4	2
1	Bb	3	2	2	1	3	3	3	3	2	1	4	4	7	4	6	2

Nota. Elaborado en el software Excel por el autor.

3. Para las visuales se modificaron los colores de fondo de la imagen del EEG, posteriormente en el código de Processing se dibujó un círculo central que varía de tamaño, mientras otros círculos de diferentes tamaños y colores, se mueven de manera aleatoria en los ejes X y Y. Se realizó de esta manera para representar la actividad cerebral registrada durante esta fase de sueño profundo, el código empleado es el siguiente:

Figura 26. Código en *Processing* Estadio N3: Sueño Profundo

```

ESTAD_A_N3__PROFUNDO
import themidibus.*;

Midibus midi;

String suenoprofundo;
String[] d;
int[] digit;
int pitch;
int x = 1;
int [] tempo = {500,250,167,125}; //1 2 3 4 BPM= 120

void setup(){
  size(1000,500);
  PImage img;
  img = loadImage("suenoprofundo.png");
  image(img, 0, 0);
  colorMode(RGB,255, 100, 100);
  background(0);
  suenoprofundo = loadStrings("suenoprofundo.csv")[0];
  d = suenoprofundo.split("");
  digit = int(d);
  midi = new Midibus(this,"Bus 1", "Bus 1");
}

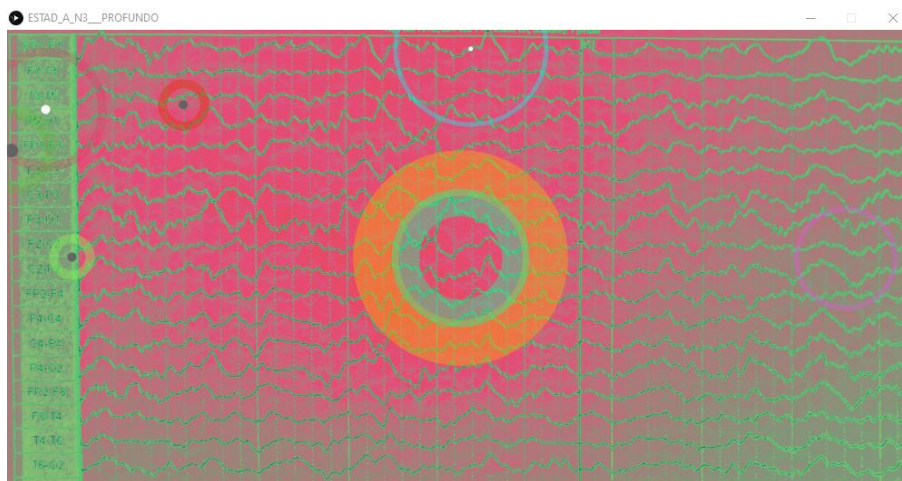
void draw(){
  PImage img;
  img = loadImage("suenoprofundo.png");
  image(img, 0, 0);
  if (digit[x] == 0) pitch = 46;
  if (digit[x] == 1) pitch = 48;
  if (digit[x] == 2) pitch = 50;
  if (digit[x] == 3) pitch = 51;
  if (digit[x] == 4) pitch = 53;
  if (digit[x] == 5) pitch = 55;
  if (digit[x] == 6) pitch = 57;
  midi.sendNoteOn(0, pitch,127);
  delay(tempo[int(random(tempo.length))]);
  midi.sendNoteOff(0,pitch,127);
  if (x > digit.length - 1) x = 0 ;
  x++;
  fill(500);
  strokeWeight(random(80,200));
  stroke(#FAB400,100);
  ellipse(width/2,height/2,50,50);
  .....
}

fill(2500);
strokeWeight(random(80,200));
stroke(#12FF9E,100);
ellipse(width/2,height/2,30,30);
fill(100);
strokeWeight(random(10,80));
stroke(#F22400,100);
circle(random(width),random(20,255),10);
fill(100,250);
strokeWeight(random(10,80));
stroke(#85FF52,100);
circle(random(width),random(height),10);
fill(500);
strokeWeight(random(10,200));
stroke(#DBSCDE,100);
circle(random(width),random(height),5);
fill(250);
strokeWeight(random(100,200));
stroke(#03F9FF,100);
circle(random(width),random(height),5);
fill(250);
strokeWeight(random(100,200));
stroke(#FA145D,50);
circle(random(width),random(height),10);
fill(100);
strokeWeight(random(50,100));
stroke(#59BF23,50);
circle(random(width),random(height),15);
}

```

Nota. Figura obtenida del software *Processing* por la autora

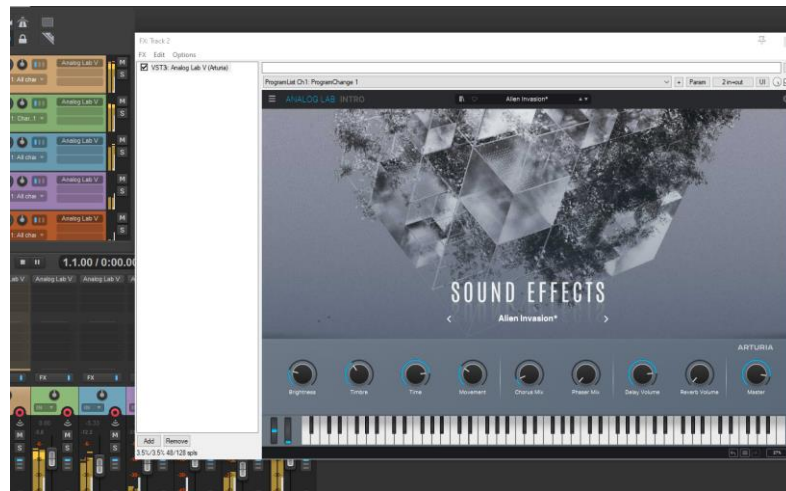
Figura 27. Visual en *Processing* Estadio N3: Sueño Profundo



Nota. Figura obtenida del software *Processing* por la autora

4. En cada canal de *Reaper*, se emplearon diferentes tipos de sintetizadores de bajos y arpegiadores para crear diferentes atmósferas de tensión que fueran acorde a las visuales. En esta etapa se usó *delay* a un 80% para generar diferentes capas de repeticiones del sonido emitido de cada canal.

Figura 28. Parámetros plugin *Analog Lab V* para Estadio N3: Sueño Superficial



Nota. Figura obtenida del plugin *Analog Lab V* por la autora

Estadio N3: Sueño profundo (*PixelSynth*)

1. La segunda pieza del Estadio N3: Sueño profundo, se conservó la tonalidad de Si bemol:

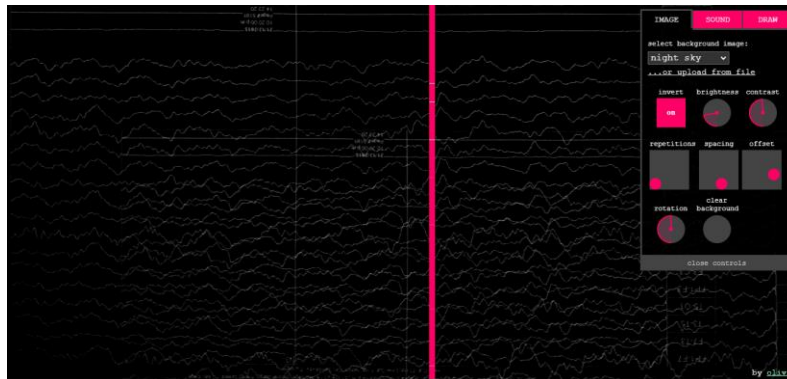
Sib – Do – Re – Mib – Fa – Sol – La

2. En la columna *Image*, se invirtió la imagen a negativo debido a que en esta fase del sueño se registró mucha actividad cerebral, por tal motivo se redujo el brillo y se aumentó el contraste para que la lectura de cada zona generara un tipo de síntesis

granular. Por otra parte, en la repetición, espacialidad y desplazamiento se crearon dos copias con una rotación de 180°.

Figura 29. Interpretación visual en PixelSynth de la pieza Estadío N3: Sueño

Profundo



Nota. Figura obtenida de la página *PixelSynth* por la autora.

2. En la columna *Sound* se modificaron los parámetros a la tonalidad de Si bemol mayor, partiendo desde la quinta octava y realizando interpretación aleatoria entre 40 notas, su velocidad fue rápida para generar una sonoridad acorde a la actividad cerebral registrada.

Figura 30. Interpretación sonora en PixelSynth de la pieza Estadío N3: Sueño Profundo



Nota. Figura obtenida de la página *PixelSynth* por la autora.

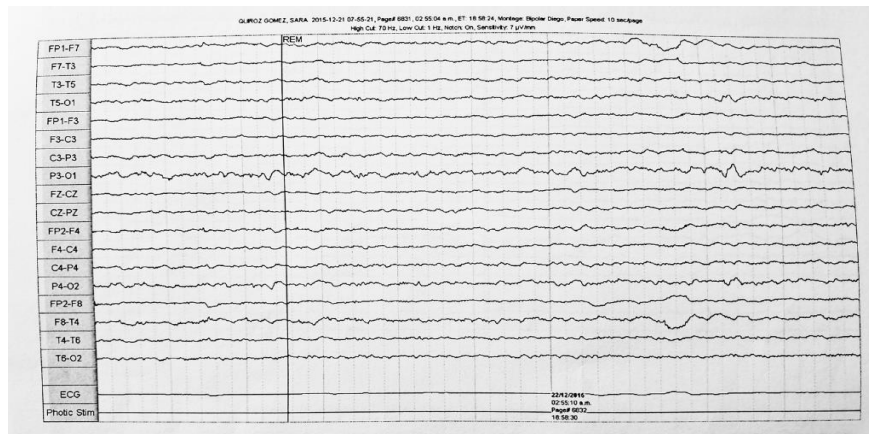
4. Por último, la columna *Draw* se conservaron los valores predeterminados para no generar una intervención extra en la sonoridad de la pieza.

Estadio R: Sueño REM (*Processing y Reaper*)

1. Para complementar el concepto de la etapa de sueño REM (Movimiento ocular rápido), se tomó la tonalidad de Re menor la cual es: Re, Mi, Fa, Sol, La, Sib y Do.

Al igual que en la etapa Somnolencia, se tomaron los datos numéricos de acuerdo con lo indicado en cada canal, tomando notas aleatorias dentro de la escala, pero indicando las notas empleadas en cada una.

Figura 31. Estadío R: Sueño REM



Nota. Figura obtenida directamente del video-electroencefalograma, 2015.

2. Los datos numéricos se organizaron de acuerdo con la nota correspondiente a cada número de la tabla tomando como base la tonalidad de Re menor natural, que estos se indicarían de manera aleatoria, de igual manera que en las demás piezas.

Figura 32. Tabla de Excel con conversión de datos a notas musicales

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
FP1-F7	T3-T5	T5-O1	FP1-F3	F3-C3	C3-P3	P3-O1	FZ-CZ	CZ-PZ	FP2-F4	F4-C4	G4-P4	P4-O2	FP2-F8	F8-T4	T4-T6	T6-O2
1	3	5	3	3	3	3	1	3	2	4	4	4	3	8	4	6
4	4	4	1	3	3	2	4	4	3	4	4	2	4	3	5	3
2	4	2	2	3	3	1	2	5	2	4	4	2	8	4	6	2
3	5	3	1	3	3	2	3	6	4	4	4	3	5	5	5	4
6	3	1	2	3	3	2	7	1	4	4	4	4	7	6	4	5
1	4	1	2	3	3	3	6	2	3	4	4	3	3	2	4	2
7	5	5	3	3	3	1	5	3	2	4	4	2	1	1	6	3
6	3	3	1	3	3	6	4	7	3	4	4	4	2	8	5	5
5	4	4	2	3	3	7	2	6	4	4	4	4	6	3	4	2
7	5	2	3	3	3	8	3	7	2	4	4	3	8	4	6	6

Nota. Elaborado en el software Excel por la autora.

3. Para las visuales se realizó en el código de *Processing* un círculo central que varía de tamaño para simular un ojo mientras el párpado está cerrado y rayos amarillos con blanco para simular las luces empleadas. Para monitorear el movimiento ocular durante el EEG y para el sonido, se buscó el número en MIDI de la escala de Re menor en la tercera octava con un BPM de 150 llevado a milisegundos para reproducir las notas rápidas, acorde al concepto científico de REM (Movimiento ocular rápido). A través del *LoopMIDI Port* se envía los sonidos aleatorios a *Reaper* para reproducirlos en el VST Analog Lab V, el código empleado es el siguiente:

Figura 33. Código en *Processing* Estadio R: Sueño REM

```

import theMidiBus.*;
import processing.video.*;

MidiBus midi;
String estadioorrem;
String[] d;
int[] digit;
int pitch;
int x = 1;
int [] tempo = {600,300,200,150,200,300,600}; //BPM= 100

void setup(){
  size(1000,500);
  PImage img;
  img = loadImage("rem.png");
  image(img, 0, 0);
  colorMode(HSB,255, 100, 100);
  background(0);
  estadioorrem = loadStrings("estadioorrem.csv")[0];
  d = estadioorrem.split("");
  digit = int(d);
  midi = new MidiBus(this, "Bus 1", "Bus 1");
}

void draw(){
  PImage img;
  img = loadImage("rem.png");
  image(img, 0, 0);
  if (digit[x] == 0) pitch = 50;
  if (digit[x] == 1) pitch = 52;
  if (digit[x] == 2) pitch = 53;
  if (digit[x] == 3) pitch = 55;
  if (digit[x] == 4) pitch = 57;
  if (digit[x] == 5) pitch = 58;
  if (digit[x] == 6) pitch = 60;
  if (digit[x] == 7) pitch = 62;
  midi.sendNoteOn (0, pitch,127);

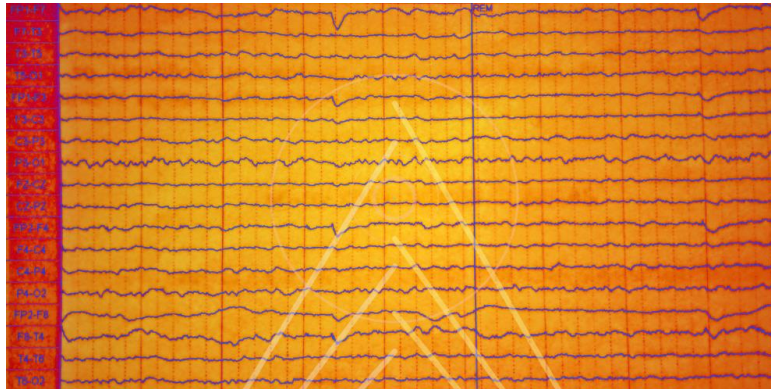
  delay(tempo[int(random(tempo.length))]);
  midi.sendNoteOff(0,pitch,127);
  if (x > digit.length - 1) x = 0;
  x++;
  for (int i = 1; i < random(0,100); i+=2){
    float op = map (i, 10,200,400,6);
    PImage img;
    img = loadImage("rem.png");
    image(img, 0, 0);
    if (digit[x] == 0) pitch = 50;
    if (digit[x] == 1) pitch = 52;
    if (digit[x] == 2) pitch = 53;
    if (digit[x] == 3) pitch = 55;
    if (digit[x] == 4) pitch = 57;
    if (digit[x] == 5) pitch = 58;
    if (digit[x] == 6) pitch = 60;
    if (digit[x] == 7) pitch = 62;
    midi.sendNoteOn (0, pitch,127);

    delay(tempo[int(random(tempo.length))]);
    midi.sendNoteOff(0,pitch,127);
    if (x > digit.length - 1) x = 0;
    x++;
    for (int i = 1; i < random(0,100); i+=2){
      float op = map (i, 10,200,400,6);
      fill(random(0,360),10);
      strokeWeight(7);
      stroke(#F9FFAF,100);
      line(width/2, random(height),1000,1000);
      fill(random(0,360),25);
      strokeWeight(7);
      stroke(#F4F5ED,100);
      line(width/2, random(height),i,1000);
      fill(0, 191, 255,25);
      strokeWeight(random(0,500));
      stroke(#F7C2A2,100);
      ellipse(width/2,height/2,i,i);
    }
  }
}

```

Nota. Figura obtenida del software *Processing*, Sara Quiroz, 2024

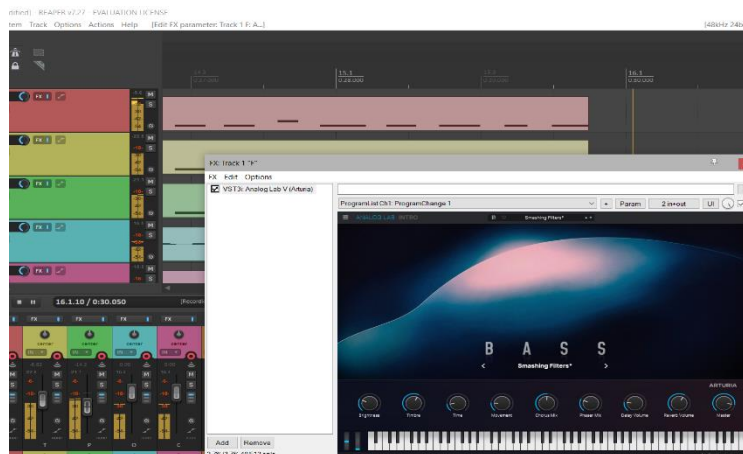
Figura 34. Visual en *Processing* Estadio R: Sueño REM



Nota. Figura obtenida del software *Processing* por la autora.

4. En cada canal de *Reaper*, se usó el VST *Analog Lab V* de Arturia con diferentes tipos de sintetizadores. Estos varían entre sonoridades graves y agudas, además de arpegiadores con modificaciones en sus parámetros, permitiendo generar diferentes sonoridades que acompañaban el material visual generado en *Processing*.

Figura 35. Parámetros plugin *Analog Lab V* para Estadio R: Sueño REM



Nota. Figura obtenida del plugin *Analog Lab V* por la autora.

Estadio R: Sueño REM (*PixelSynth*)

1. La segunda pieza del Estadio R: Sueño Rem, realizada en *PixelSynth* en la columna *Image*, se invirtió la imagen del EEG a negativo para que el sonido tuviera variaciones de acuerdo con cada línea que representa la ubicación de los electrodos en el cuero cabelludo. Adicionalmente, se redujo el brillo y el contraste para que la lectura de cada línea blanca fuera precisa.

Figura 35. Interpretación visual en *PixelSynth* de la pieza Estadio R: Sueño Rem



Nota. Figura obtenida de la página *PixelSynth* por la autora.

2. En la columna *Sound* se modificaron los parámetros a la tonalidad Re menor natural, partiendo desde la tercera octava y realizando interpretación aleatoria entre 20 notas de la misma tonalidad, su velocidad se aumentó para que su lectura fuera de izquierda a derecha.

Figura 36. Interpretación sonora en PixelSynth de la pieza Estadio R: Sueño Rem



Nota. Figura obtenida de la página *PixelSynth* por la autora.

4. Por último, en la columna *Draw* se conservaron las configuraciones predeterminadas para no generar alteraciones extra en la interpretación visual.

CONCLUSIONES

De acuerdo con las técnicas de sonificación de ondas cerebrales empleadas por otros artistas del campo del arte sonoro y música electroacústica, fue posible identificar enfoques que se puede generar una relación entre la síntesis y la medicina. Se evidenció que estas prácticas no solo exploran nuevas formas de creación sonora, sino que también permite tener alternativas en una creación artística. Esta investigación genera un aporte al campo de estudio al demostrar que se puede realizar una conversión de datos médicos como el EEG en sonido, proporcionando un marco referencial para futuras investigaciones en el arte sonoro y la música electroacústica. La investigación sobre técnicas de sonificación, como la lectura de imágenes con modificaciones en sus parámetros y el uso de programación creativa, propuestas

sonoras y artísticas obras artísticas. Adicionalmente permitió establecer una conexión entre la medicina, en este caso la actividad cerebral registrada en el EEG y la experimentación sonora, resignificando una experiencia médica que generó dificultades en la vida de la autora en una expresión artística.

El resultado de la creación de ocho piezas sonoras basadas en datos EEG de distintas fases del sueño demostró que la metodología propuesta y fue efectividad a la hora de crear a través de otros métodos diferentes a la música convencional. La implementación de Processing y Reaper a través de MIDI demostró ser una alternativa más para la creación sonora, permitiendo obtener dos interpretaciones distintas con los mismos datos y que pueden dar posibilidades incluso en composición o producción musical.

BIBLIOGRAFÍA

Castro, D. (2017). *Jacqueline Nova: la pionera de la música electroacústica en Colombia*. <https://www.vice.com/es/article/783peq/jacqueline-nova-la-pionera-de-la-musica-electroacustica-en-colombia>

Cerebro (s.f.). Enciclopedia Humanidades. <https://humanidades.com/cerebro/>

Dal Farra, R. (2004). *El archivo de música electroacústica de compositores latinoamericanos*. https://www.academia.edu/64869109/El_archivo_de_música_electroacústica_de_compositores_latinoamericanos

De Andrade, I. (2013). *La música electroacústica mixta, el intérprete y los desafíos de la praxis musical contemporánea*. <https://periodicos.unespar.edu.br/index.php/vortex/article/view/429/5269>

Díaz, J y Cuervo, R. (2021). Definiendo el arte sonoro. Indefinición. En J, Díaz. (Ed.), *El arte sonoro en Colombia*, (pp. 31- 43). UAN Universidad Antonio Nariño.

Durán, E., Mesa, G., Díaz, J., (2021). Dimensión formación. Instalación Sonora. En J, Díaz. (Ed.), *El arte sonoro en Colombia*, (pp. 237- 263). UAN Universidad Antonio Nariño.

Díaz, J., Cuervo, R., Brianza, A., Díaz, R., Mesa, G., Durán, E. (2021). Entre el arte sonoro y la música: panorama en Colombia. *Revista Nodo*, 31(15), 104-117.
<https://doi.org/10.54104/nodo.v16n31.717>

García Sánchez, F.A. y Martínez Segura, M.J. (2003). Estudio práctico de Biopatología. La base biológica de algunos problemas educativos. Universidad de Murcia - I. C. E.
https://webs.um.es/fags/docs/libro_03/21_corteza.pdf

Gonzalez, E., Torres-García, A., Reyes-García, C., Villaseñor-Piñeda, L. Aplicación de la sonificación de señales cerebrales en clasificación automática.
<https://doi.org/10.17488/RMIB.36.3.8>.

Jack, O. (30 de marzo de 2016). Pixelsynth. Olivia Jack.
<https://ojack.xyz/work/pixelsynth/>

Kokoras, P. (2014, 14-20 de septiembre). *Sense: an electroacoustic composition for surround sound and tactile transducers* [Presentación]. 40th International Computer Music Conference. Atenas, Grecia.
https://www.panayiotiskokoras.com/texts/PKokoras_ICMC14_Sense.pdf

Libraries (s. f.). Processing. <https://processing.org/reference/libraries/>

Masaki Batoh.[Drag City](2012). Masaki Batoh BRAIN PULSE MUSIC Promotional video. [Archivo de Vídeo]. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=XI4Mge8nLMw>

Microcircuitos. (2015). *Colombia.: Jacqueline Nova - Creación de la tierra (1972)*. SoundCloud. <https://soundcloud.com/microcircuitos/colombia-jacqueline-nova-1>

Molina, Miguel. (2019). El Arte Sonoro. *Itamar. Revista de investigación musical: territorios para el arte*, [S.l.] , ISSN e-ISSN 2386-8260.
<https://ojs.uv.es/index.php/ITAMAR/article/view/14028>

Museo Universitario de Artes Digitales. (2016). *Juan Reyes «Experimentación sonora»*. MUNAD. <https://munad.unad.edu.co/juan-reyes/#pista1>

Pacheco, A., Trujilla, E., Dominguez, J. (2015). Programación Creativa. *Memoria del Congreso Int. en Ing. Electrónica ELECTRO, IT Chihuahua*.
https://www.researchgate.net/publication/286932327_Programacion_Creativa

Santos, E. (2018). *Univers in Musica: composición musical electroacústica*.
<http://hdl.handle.net/1992/34724>