



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Programa de Maestría y Doctorado en Música

Facultad de Música
Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología
Instituto de Investigaciones Antropológicas

TONOS DE COMBINACIÓN: EXPERIMENTAR LOS LÍMITES DE LA
ESCUCHA

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN MÚSICA

PRESENTA:
GALO ALBERTO GONZÁLEZ ALVARADO

TUTOR PRINCIPAL
DR. JORGE DAVID GARCÍA CASTILLA
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN MUSICA

CIUDAD DE MÉXICO, 2022

MARZO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DECLARACIÓN DE ÉTICA ACADÉMICA:

Declaro conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, plasmado en la Legislación Universitaria. Con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí especificadas, aseguro mediante mi firma al calce que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría. Todas las citas de obras elaboradas por otros autores, o sus referencias, aparecen aquí debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante las convenciones editoriales correspondientes.

Galo Alberto González Alvarado. Ciudad de México, 2022

Índice general

Índice de figuras	v
1. Introducción	1
2. Marco teórico	9
2.1. El oído interno: un mecanismo sensorial	9
2.2. Consonancia, disonancia y organización tonotópica	14
2.3. Tonos de combinación: una respuesta no lineal de la escucha	18
2.4. Diferencias interaurales: la imagen espacial del sonido	21
2.5. Aspectos fisiológicos del oído en el mundo de las artes	23
3. Diseño del experimento	29
3.1. <i>Retratos al exterior</i>	32
3.1.1. <i>Selva</i>	33
3.1.2. <i>Jungle</i>	34
3.1.3. <i>Estepa</i>	36
3.2. <i>Leîmma</i>	38
3.3. <i>Locus</i>	40
4. Análisis de resultados	43
4.1. <i>Selva</i>	44
4.2. <i>Jungle</i>	48
4.3. <i>Estepa</i>	51
4.4. <i>Leîmma</i>	55
4.5. <i>Locus</i>	57
5. Conclusiones	63
Bibliografía	67
A. Código/Manuales/Publicaciones	71
A.1. Apéndice	71

Índice de figuras

1.1. <i>Patch</i> generador de tonos de combinación realizado en Pure Data	4
2.1. Anatomía del oído. Kircher(1650) <i>Musurgia Universalis I.</i>	11
2.2. Cóclea seccionada.	12
2.3. Cóclea desenroscada.	13
3.1. <i>Retratos al exterior</i> [CMMAS]	32
3.2. <i>Selva</i> [Fragmento]	33
3.3. <i>Jungle</i> [<i>Patch</i> de Audiomulch]	34
3.4. <i>Jungle</i> [Fragmento]	35
3.5. <i>Estepa</i> [Fragmento]	36
3.6. <i>Leîmma</i> [Resonancias XIII UNAM-FaM]	38
3.7. <i>Locus</i> [Patch en SuperCollider]	40
4.1. Forma de onda y espectrograma de <i>Selva</i> [Completa]	44
4.2. Espectrograma de <i>Selva</i> [Fragmento 3:02 - 3:10]	45
4.3. Cocleograma de <i>Selva</i> [Fragmento 3:02 - 3:10]	46
4.4. Forma de onda y espectrograma de <i>Jungle</i> [Completa]	48
4.5. Espectrograma de <i>Jungle</i> [Fragmento 1]	49
4.6. Cocleograma de <i>Jungle</i> [Fragmento 2]	50
4.7. Forma de onda y espectrograma de <i>Estepa</i> [Completa]	51
4.8. Espectrograma de <i>Estepa</i> [Fragmento 1]	52
4.9. Cocleograma de <i>Estepa</i> [Fragmento 1]	53
4.10. Espectrograma de <i>Estepa</i> [Fragmento 2]	54
4.11. Forma de onda y espectrograma de <i>Leîmma</i> [Completo]	55
4.12. Espectrograma de <i>Leîmma</i> [Fragmento]	56
4.13. Cocleograma de <i>Leîmma</i> [Fragmento]	56
4.14. Forma de onda y espectrograma de <i>Locus</i> [Completo]	57
4.15. Espectrograma de <i>Locus</i> [Fragmento]	58
4.16. Cocleograma de <i>Locus</i> [Fragmento]	59
A.1. <i>Selva</i> [Completa]	77

ÍNDICE DE FIGURAS

A.2. <i>Jungle</i> [Pag.1]	78
A.3. <i>Jungle</i> [Pag.2]	79
A.4. <i>Estepa</i> [Pag.1]	80
A.5. <i>Estepa</i> [Pag.2]	81

Introducción

La presente investigación se centra en los tonos de combinación que, como elemento detonante para la experimentación sonora y la composición, se conducen en la práctica musical mediante recursos instrumentales, electrónicos y mixtos. Con tonos de combinación nos referimos a una serie de fenómenos psicoacústicos que provienen de la combinatoria de dos sonidos, principalmente ondas sinusoidales o tonos puros que, con un intervalo particular, nos permiten percibir un tercer sonido que no se encuentra presente en el estímulo.

Esta investigación tiene dos propósitos principales. Por un lado comprender cómo se manifiestan estas respuestas. Por el otro implementar estrategias compositivas que pongan a dialogar al fenómeno con aspectos relacionados con la escucha, la música, la experimentación sonora,¹ el ruido, las neurociencias del sonido y la tecnología, así como una suerte de aspiraciones, sensibilidades estéticas y artísticas que conforman dicha propuesta. Como resultado de esta investigación y de la experimentación con el fenómeno psicoacústico, se consuma la creación de cinco piezas: *Selva* (para flauta amplificada), *Jungle* (para flauta con medios fijos o procesos electrónicos), *Estepa* (para dueto de flauta amplificada y laptop) las cuales están contenidas dentro de mi producción discográfica *Monochrome*, *Leïmma* (para alientos, percusión con medios fijos y electrónica en tiempo real) y *Locus* (acusmática).

La naturaleza de esta serie de fenómenos derivados de la combinación de dos sonidos es tal que podemos encontrar relaciones directas con los fundamentos de la armonía o de la síntesis de sonido; sin embargo, toma relevancia el hecho de que este tercer sonido no se encuentre dentro de las frecuencias presentadas como estímulo y se manifieste en las profundidades de nuestro oído, lo cual representa una sensación distinta a la que se esperaría convencionalmente cuando escuchamos música. Cabe destacar que la vivencia posibilita al espectador, de manera

¹Con experimentación sonora queremos indicar que se trata de un contexto artístico, exploratorio y de expansión creativa, que regularmente se da en colectivo.

1. INTRODUCCIÓN

alternativa, un perfil de agente colaborador de la experiencia interactiva, ya que tiene la posibilidad de percibir el sonido de forma distinta, a razón del movimiento de cabeza; incluso el mismo espacio en donde se experimentan los estímulos tiene un papel importante para la experiencia en general.

En cierta medida y con las condiciones apropiadas es posible percibir la respuesta como sensación focalizada dentro del oído; esto conduce a disgregar las sensaciones cuando el estímulo se percibe de las que se generan como resultado en esta experiencia. La propiedad de localizar este sonido dentro del oído permite diferenciar espacialmente los sonidos que sirven de estímulo, de modo que reconocemos la manifestación del evento auditivo (Munar y otros, 2002) en un lugar distinto: nuestra cóclea.

Dadas estas circunstancias, como espectador o como intérprete es posible interactuar en cierto grado con el fenómeno, “sintonizando” la respuesta con giros leves de cabeza o del cuerpo para descartar que es una afección auditiva, una avería del equipo de audio, algún instrumento en malas condiciones, o peor aún, cierto error del intérprete o del compositor cuando el fenómeno se presenta con propósito de una obra de arte manufacturada con sonido. Esta experiencia podría considerarse una ilusión auditiva, sensación única, enigmática, misteriosa o subliminal, pero profundamente arraigada a nuestra naturaleza, por lo que se tienden líneas disciplinares y metodológicas que, por un lado, enganchan y fundamentan esta investigación, y por el otro actúan como fuentes de inspiración y conocimiento, alimentando el imaginario desde donde se elabora este trabajo.

Las sensaciones auditivas producidas por esta combinación de frecuencias se circunscriben a las no linealidades de la audición; una serie de reacciones sensoriales, fisiológicas y neuronales que activan la experiencia de la escucha y permiten discriminar las características principales del sonido de manera activa y atenta a las sutilezas que, en ocasiones, pasan desapercibidas.

Mi interés por este tipo de fenómenos surge desde 2012; para contextualizar al lector relataremos ese primer acercamiento, el cual se dio durante el Taller para compositores de técnicas extendidas para flauta, facilitado por el Dr. Salvador Torre, en el Centro Morelense de las Artes, dentro del marco de la Semana de las Artes. En dicho taller dedicado a exponer una serie de técnicas extendidas para la flauta y su escritura en notación musical hubo la oportunidad de escribir una pequeña pieza, que más tarde el maestro pudo interpretar como una primera lectura. Impresionado por la facilidad y control que el maestro ejercía sobre su instrumento, aunado a la excelente interpretación de ese cúmulo de técnicas, días después le solicité, para la propuesta titulada *Selva*, que interpretara uno de los ejemplos que nos había facilitado previamente. Dicho ejemplo se escucha como una combinación de sonidos, en donde predomina el ruido que producen tanto las alturas como la embocadura y el aire que se imprime para hacer sonar el instrumento. Por ende, le pedí que interpretara dos alturas, una con la flauta y

otra con la voz; con esta última también realizaría un *glissando* para generar un efecto similar a los denominados tonos de combinación. Sin embargo, independientemente del resultado tan atractivo, aún me encontraba bastante lejos de mi expectativa.

Es pertinente añadir que cuando empezó el boceto ni siquiera podría considerar que estaba llevando a cabo una investigación sistemática en términos académicos; pero en definitiva había allí un proceso creativo que, a través del análisis de algunas capturas de audio, así como de experimentación con procesos de síntesis, permitieron enfocarme en una idea: la de combinar alturas. Las revelaciones mientras experimentaba ese resultado sonoro, por supuesto derivado del proceso de composición, en términos musicales cumplía con un primer encuentro satisfactorio. Un generador simple, de acceso rápido por parte del intérprete, con la posibilidad de producir dos sonidos al mismo tiempo, controlando alturas, duraciones y demás detalles técnicos e interpretativos de forma independiente.

Desde las primeras incursiones en la música, por el hecho de tocar guitarra eléctrica me fue necesario concebir el sonido electrificado, amplificado, filtrado y modulado por una serie de botones y dispositivos externos que dan camino a la señal de audio. Con interés en las nuevas tecnologías dedicadas a la música, durante los estudios de licenciatura completé esta etapa formativa de manera integral. En su momento, no existía asignatura alguna en esta línea tecnológica dentro de los planes de estudio regulares del Centro Morelense de las Artes, por lo que conté con la fortuna de gestionar de forma autónoma e independiente unos cursos de música electroacústica con el maestro Antonio Russek. Fue venturoso durante la licenciatura un fuerte acercamiento a la composición, en la cátedra impartida por la Dra. Mariana Villanueva Conroy; allí tuve la oportunidad de conocer el trabajo de grandes maestros, prácticas y corrientes musicales surgidas a través de la historia, de las cuales considero importante la música espectral,² como algunos la denominan, que fue un gran impacto para mi formación. Acceder a trabajos como *Partiels* de Gerard Grisey deja una resonancia que hasta hoy en día permite observar su remanente, en el cual podemos reconocer con claridad cómo la tecnología puede usarse con propósitos meramente artísticos, y experimentar el universo sonoro tan llamativo e ilustrativo que esta referencia puede traernos.

Es esta época que me acerqué a los diversos cursos, programas y festivales, así como al Diplomado en creación con nuevas tecnologías que el Centro Mexicano para la Música y las Artes Sonoras facilita. En uno de estos viajes a la ciudad de Morelia, Michoacán, previo al ingreso a este posgrado, tuve la fortuna de experimentar con los tonos de combinación. Dicho proyecto fue programado

²Término acuñado por el compositor y filósofo Hugues Dufourt en 1979, escrito para *la Société Nationale de Radiodiffusion, RadioFrance/Société Internationale de Musique Contemporaine*, SIMC.

1. INTRODUCCIÓN

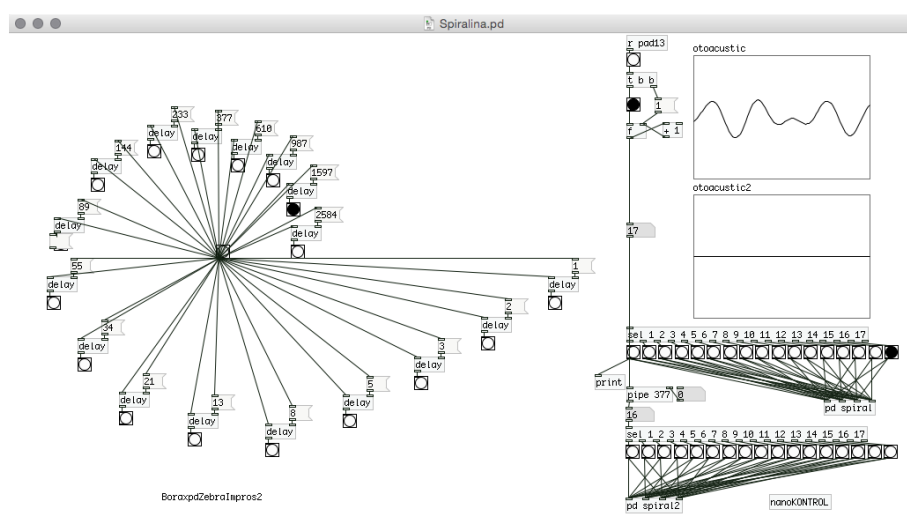


Figura 1.1: *Patch* generador de tonos de combinación realizado en Pure Data

digitalmente en Pure Data, lenguaje de programación visual para multimedia de código abierto desarrollado por Miller Puckette; el *patch*³ activa varios osciladores individuales, los cuales tienen la instrucción de hacer sonar determinadas frecuencias y trasladarlas entre los 1,000 y los 3,000 hercios (Hz), éstos al tener un funcionamiento independiente que corre a velocidades distintas, a cada iteración del proceso hacen que las frecuencias crucen entre ellas, produciendo esta especie de distorsión que representa un sonido que no es ejecutado por ningún instrumento, pero sí se manifiesta auditivamente. Este acercamiento, a pesar de no ser el primero, adquiere por las circunstancias el valor de primer hallazgo e incentivo para emprender una investigación al respecto y utilizarlo como estrategia compositiva.

Dicho experimento fue realizado en el centro de la ciudad de Morelia, en la terraza de un hostel en donde terminé de conectar los objetos del *patch*. Se activó la secuencia, así como el procesador de señal digital (por sus siglas en inglés DSP: *Digital Signal Processor*) y de repente la sensación de estos sonidos dentro del oído tan nítidamente definidos me atravesó: si giraba un poco la cabeza se

³Se refiere al método de interconexión entre las distintas partes de un sintetizador. Se remonta a los días de los sintetizadores modulares, cuando éstos eran el resultado de una conexión entre partes -módulos- con un fin técnico y sonoro determinado, al que se llega mediante el “patcheo”, procedimiento con el que se conectan los diferentes módulos al panel frontal. Este mismo procedimiento de interconexión entre dispositivos se reproduce en el entorno virtual de la computadora para trabajar con diversos instrumentos y filtros virtuales (Prieto, 2013).

amplificaban y atenuaban en cierto porcentaje. Debido a que me ubicaba en un espacio abierto, detuve la secuencia, apagué el procesador de señal digital, lo encendí de nuevo para constatar que la percepción de estos sonidos se daba sin problemas y verificar que no eran generados en la computadora por algún otro *patch*. El propósito era asegurar que no provenían de ninguna otra fuente, sino que su procedencia era la combinación de ondas sinusoidales. En su momento esto me impactó bastante, ya que el estímulo se encontraba amplificado sólo por las bocinas del dispositivo y el ambiente era muy ruidoso.

En principio, el descubrimiento de la sensación auditiva medianamente controlada por el *patch*, me llevó a relacionar directamente el resultado sonoro con otras sensaciones antes experimentadas como los batimentos,⁴ que se generan al afinar un instrumento de cuerda, o las sensaciones de consonancia, disonancia, rugosidad⁵ y algunas otras que no tenía idea de que se circunscriben al mismo fenómeno, como la sensación al escuchar los frenos desgastados de un camión. Esto desencadena un característico sonido sobreagudo, lacerante y molesto que alcanza las profundidades de nuestra percepción auditiva. Inclusive en algunos casos escuchar el grito o llanto de un niño pequeño podría provocar experiencias similares. Así, me dispuse a indagar más al respecto, de modo que apliqué desde varios ángulos tentativas para generar el fenómeno y hacer más notorias estas reacciones no lineales de la escucha. De esta manera, revisé propuestas que ponen en discusión algunos modelos que exploran el fenómeno desde enfoques meramente acústicos, electrónicos o en combinación, con la convicción de desentrañar sus mecanismos.

Como artista y compositor resulta muy interesante la idea de crear con un contenido armónico/inarmónico que se configura y reconfigura a sí mismo hasta el punto en donde desconocemos las fronteras entre una altura definida y el ruido. Pareciera una entidad viva, independiente, pero por sus propiedades podría pasar desapercibida, oculta, ser ilusoria o simbolizarse de diversas formas. Por esto es necesario regresar al origen y no perder de vista que en la música, independientemente del género o de la práctica que se realice, por la relación que tenemos con el sonido somos susceptibles a experimentar éstos y muchos otros fenómenos psicoacústicos que nos permiten entender el sonido y sus implicaciones perceptuales, y a su vez tomar conciencia de nuestra existencia como seres que, así como escuchan, vibran en relación con el sonido. Lo que conjuga el ritmo, las alturas

⁴Al superponer dos sonidos de frecuencias próximas entre sí tiene lugar un fenómeno de batido (batimento) o pulsaciones entre ambos, que consiste en una fluctuación periódica de amplitud (Miyara, 1999).

⁵Término acuñado por Herman von Helmholtz (1885) para referirse a sonidos discordantes o rugosos.

1. INTRODUCCIÓN

afinadas dispuestas en múltiples presentaciones, los sistemas tonales, los espectros y sus formas; el espacio donde se desenvuelven las no linealidades de la escucha. Esto comprende la apertura hacia nuevas formas de escucha sensibilizadas, más atentas y menos prejuiciosas o irrisibles para vivir la experiencia en un sentido holístico.

Tales conceptos permiten explorar y jugar con la idea del claroscuro, técnica propia de la gráfica donde el trabajo se enfoca en la luz y la sombra, obteniendo así la percepción del volumen y desenmascarando la perspectiva; en términos analógicos, parte de los propósitos artísticos en este trabajo es fusionar estas relatividades con un ritmo que obedece a la estructura de cada obra, entablando de momento estos juegos perceptuales como discurso musical estructurado.

Este afluyente creativo me entusiasma debido al poder que se le entrega al espectador y la responsabilidad que éste adquiere al experimentar las sensaciones con cierto control en cuanto a la proporción en que pueden percibir las. Esta interacción facilita tomar decisiones en cuanto al juego, o nivel de experiencia al sintonizar estas respuestas con movimientos leves de la cabeza o mediante el desplazamiento en el espacio. Alternativamente, a modo de prótesis, con el objetivo de expandir nuestras capacidades auditivas, podemos colocar las manos detrás de las orejas, semejando una antena receptora y amplificadora.

Debido a que las necesidades del proyecto están determinadas por la claridad y el acceso a los parámetros, configuraciones y diseño de los instrumentos, así como a las operaciones matemáticas relativas a procesos de síntesis o algorítmicos y su posible implementación en un trabajo artístico de composición o experimentación sonora, resulta pertinente contemplar un sistema flexible donde la improvisación o composición en tiempo real pueda practicarse con el apoyo de técnicas como *live coding*⁶ y diversas estrategias compositivas. Por tal motivo se tomó la decisión realizar parte del trabajo en SuperCollider, logrando así una serie de algoritmos donde se construye tanto el discurso sonoro, como los estímulos y experimentos para generar el resultado relativo a los tonos de combinación. Así podemos observar códigos que representan sintetizadores, patrones rítmico-melódicos y algunos ejemplos derivados de la literatura que nos ayudan a explicar tanto el fenómeno como el proceso artístico y de toma de decisiones para elaborar este trabajo.

La problemática en esta investigación se centra en el uso y configuración de los tonos de combinación como génesis, herramienta o recurso para la composición, planteando preguntas como: ¿de qué forma conduzco a la práctica musical un fe-

⁶Práctica destinada a la escritura de código en tiempo real, el cual puede ejecutar las instrucciones mientras presenta resultados dinámicos que en el caso de un instrumento musical digital o sintetizador, derivan en un resultado acústico, sin embargo dicha práctica también se da comúnmente en las artes audiovisuales.

nómeno psicoacústico de estas características?, ¿se debe a una situación cultural, o relativa a la experiencia trabajando con sonido la distinción de este resultado como un sonido residual, ruido, efecto o un tercer sonido no presente en el estímulo?, ¿es posible obtener resultados idénticos o similares entre sí de manera instrumental, electrónica o mixta?

El objetivo principal es emplazar el fenómeno psicoacústico del que se ha venido hablando en la práctica musical. Para incidir a que suceda se explorarán distintas estrategias compositivas que involucran tanto instrumentos acústicos como electrónicos para la producción de estos estímulos. Se tiene programado que dicho emplazamiento será una obra musical en un medio fijo ya sea físico o digital para su futura apreciación o análisis.

De esta forma se analizarán las características espectromorfológicas de los sonidos utilizados en las propuestas.

La principal contribución de este trabajo abarca campos relativos a la investigación artística en una primera instancia; también hace su aporte en relación con la composición de obra musical para flauta sola, así como con electrónica en tiempo real y con medios fijos. De esta manera se adhiere al repertorio nacional de música escrita para flauta encaminada a la música contemporánea y posiblemente con mayor tendencia hacia la electroacústica. Por otro lado constituye una aportación a las músicas que dialogan mediante la improvisación, en este caso permiten no sólo la improvisación como la hemos conocido a lo largo de la historia del jazz, sino que abre espacios de exploración para otras improvisaciones, como lo haría la experimentación sonora. Por último, es una aportación a los repertorios de música acusmática que se realizan en este país.

De igual forma resulta valioso el conjunto de ideas plasmadas en las líneas de código, *patches* que dan cuenta, por un lado, del uso de estos recursos digitales con fines creativos relativos a procesos de síntesis con intenciones dirigidas al diseño de instrumentos virtuales o sintetizadores. Por otro lado resultan dispositivos para el análisis espectromorfológico de la música o del discurso sonoro, dotando así al compositor electroacústico con una serie de herramientas tecnológicas dedicadas a la música, ya sea electrónica o digital.

Finalmente, otra de las contribuciones es el acercamiento hacia teorías como las de la percepción y su relación con la visibilidad del fenómeno, los mecanismos de la escucha y los procesos fisiológicos y neuronales que se dan a través de ella, lo cual nos ayuda a comprender las no linealidades de la escucha y todas sus implicaciones.

La introducción de este documento plantea los objetivos y propósitos de la tesis; relata de igual forma los antecedentes que sirven de incentivo para emprender una investigación de estas magnitudes. El corpus del trabajo está dividido en tres capítulos. El capítulo inicial, titulado “El oído interno: un mecanismo sensorial”, nos servirá de marco teórico para abordar nociones relacionadas con el sistema

1. INTRODUCCIÓN

auditivo; nos apoyaremos en autores como Pickles, Robles, Ruggero y Biacabe, y profundizaremos en el funcionamiento de la audición y la capacidad de análisis que todo ello ostenta. Fletcher, Moore, Roederer, Munar, Vassilakis, Cantú, Lach, son autores que nos ayudarán a sustentar las nociones relativas a los tonos de combinación, consonancia, disonancia, organización tonotópica y lateralidad. Este apartado tendrá una suerte de estado del arte y observaremos algunos ejemplos de cómo se han conducido este tipo de experiencias con finalidad e intereses puramente estéticos o artísticos, donde autores como Amacher, Tenney o Parker, nos permitirán comprender lo que se ha realizado en esta línea. El siguiente capítulo servirá de contenedor tanto de los experimentos como de las problemáticas específicas, los métodos y procedimientos para su posible solución. En el último capítulo se presentarán los resultados y se analizarán las características espectromorfológicas de los materiales utilizados. Se discutirán los resultados obtenidos en las obras analizadas, así como las tecnologías para su elaboración. Finalmente cierra este documento con las conclusiones y los comentarios finales, así como con futuros trabajos relacionados. En el apéndice encontraremos partituras, líneas de código de SuperCollider con sintetizadores, funciones y demás herramientas utilizadas.

Las citas textuales que de manera original están escritas en otras lenguas distintas al español son traducción propia.

Para la correcta apreciación de todos los materiales, tanto los acústicos como los psicoacústicos, es necesario un sistema de amplificación estéreo. Ya que las condiciones para realizar esta tarea no tienen posibilidad de ser controladas como en un laboratorio, los resultados psicoacústicos aquí propuestos son relativos.

Marco teórico

*Mientras todo parece ser válido en la superficie,
en el fondo todavía enfrentamos las inevitables fuerzas de los límites de la percepción,
los arquetipos y la memoria social (Solís, 2018)*

2.1. El oído interno: un mecanismo sensorial

El oído es un sentido que comienza a desarrollarse antes del nacimiento, por lo tanto, es determinante en la formación del ser humano y contribuye a la constitución de un ser perceptivo, sensible a los estímulos acústicos que le dan espacio, que reafirman su existencia individual y colectiva. “Oír, escuchar, es presentir, presentir conduce a pensar” (Andrés, 2008), es por eso que desde las culturas primitivas fue considerado como símbolo de revelación suprema, dotando al hombre de un instrumento de supervivencia en una realidad agreste. Hallazgos como los encontrados en cuevas, donde las pinturas rupestres coinciden con los puntos de mayor resonancia de estas formaciones rocosas (Reznikoff, 2010), indican cómo la humanidad desde el Paleolítico superior se relaciona profundamente con el sonido, con los fenómenos acústicos, la música y la oralidad.

El Renacimiento trajo consigo las manifestaciones tempranas del estudio del sistema auditivo: Andreas Vesalius realiza las primeras disecciones anatómicas dejando un legado muy importante para la otología; tratados como el de Kircher, y otros que surgen posteriormente, entre los que destaca el tratado del órgano de la oreja de M. Duverney, histórico documento que contiene algunas disecciones del oído interno, van configurando los primeros saberes respecto al sistema auditivo tanto de humanos como de animales. En el siglo XIX Alfonso Corti es pionero en el estudio histológico del laberinto a detalle; provee también los primeros dibujos de la existencia de las células ciliadas. Éste, junto con otros trabajos como los de Reissner y Deiter, contribuyen ampliamente a un mejor entendimiento de la

2. MARCO TEÓRICO

histología del oído interno, disciplina que se centra en el estudio de los tejidos orgánicos (Hachmeister, 2003).

Hermann von Helmholtz fue pionero en el estudio del sonido y la audición con la publicación de su libro *Sobre las sensaciones del tono*, que se celebra en el año de 1863 y aporta las bases de la psicoacústica moderna; allí se exponen las repercusiones psicológicas y fisiológicas del sonido. El estudio de la audición se concentró en los procesos mecánicos de la cóclea, explicados básicamente a través de dos teorías: la teoría de la resonancia por simpatía de Helmholtz y la teoría de la onda viajera propuesta por el biofísico húngaro Georg von Békésy. La primera propone que la membrana basilar se compone de unidades independientes de longitud y grosor específicos, cada una de las cuales resonaría a una frecuencia concreta, lo cual limita y sólo conduce a una idea mecánica del proceso auditivo.

Békésy sugiere que el sonido produce una onda que recorre toda la membrana basilar provocando su desplazamiento, el cual alcanzaría un punto máximo en cada frecuencia. Estas teorías proponen una mecánica pasiva de la cóclea, aunque hoy se reconocen procesos cocleares activos, y procesos fisiológicos y neuronales muy importantes para la experiencia de la escucha que insertan nuevas aproximaciones para entender su funcionamiento. Desde 1948, Gold argumentaba que el oído no opera como sensor pasivo; conjeturó que un mecanismo regenerativo para la audición podría conducir hacia oscilaciones de retroalimentación para que el oído emitiera sonido (Gold, 1948), pero la tecnología de la época no podía constatarlo. Con el tiempo se introdujeron nuevos conceptos para explicar el mecanismo de la escucha concentrándose en la cóclea; en palabras de David Kemp:

se comprendía en un principio como “pasivo y lineal” pero en la actualidad se entiende como “activo y no-lineal”, lo cual deviene en el pensamiento acerca de la cóclea como un mecanismo sensorial (Kemp, 2008).

Gracias a estos esfuerzos tempranos, a pesar de tropiezos y equivocaciones resolvemos medianamente el intrincado y sinuoso camino del sonido desde el momento en que es emitido hasta que lo comprendemos como tal, lo cual ahora se interpreta como un proceso bastante complejo.

Desde un punto de vista anatómico, el sistema auditivo se compone de tres partes: el oído externo, medio e interno. El oído externo se encarga de recibir, filtrar y dirigir las ondas sonoras hacia la membrana del tímpano a través del canal auditivo, amplificando algunos sonidos y atenuando otros. Las partículas del aire se comprimen y descomprimen por las ondas sonoras que las desplazan, causando vibración en la membrana del tímpano y, subsecuentemente, estas vibraciones se amplifican en el oído medio, donde tres pequeños huesos las transmiten hacia la cóclea (2.2). Esta última es un instrumento desarrollado por los vertebrados superiores, sobre todo en los mamíferos.

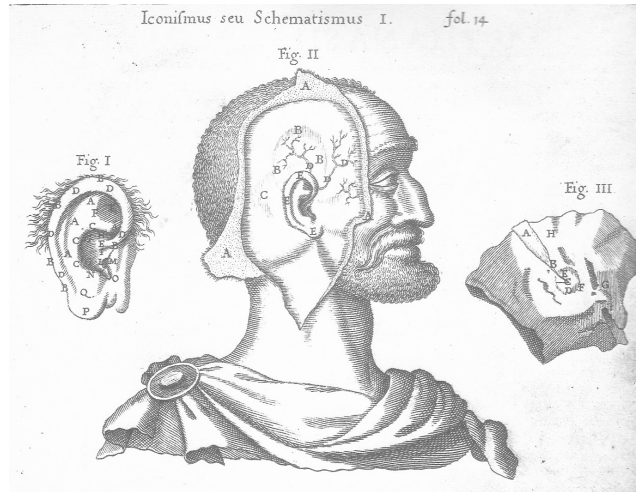


Figura 2.1: Anatomía del oído. Kircher(1650) *Musurgia Universalis I*.

Incrustada en el hueso temporal, mide alrededor de 1 cm de ancho, 5 mm desde la base hasta el ápice en los seres humanos, y contiene a la membrana basilar enrollada de aproximadamente 35 mm de largo.

La cóclea se encuentra dividida longitudinalmente en tres escalas que mantienen sus relaciones espaciales a lo largo de los giros. La lámina espiral ósea divide la escala vestibular de la escala timpánica. La escala media es separada de la escala vestibular arriba por la membrana de Reissner, y de la escala timpánica abajo por la membrana basilar. Las dos escalas externas, la escala vestibular y la escala timpánica están unidas en el vértice de la cóclea por una abertura conocida como helicotrema. La escala vestibular y timpánica contienen perilinfa, un fluido similar al fluido extra-celular en cuanto a su composición iónica (Pickles, 2012).

Esto presupone un fluido con cierta composición bioeléctrica, o mejor dicho electroquímica, como parte del sistema. Las diferencias de concentración de estas partículas cargadas causa una diferencia en el potencial eléctrico entre el interior y el exterior de las células, conocido como potencial de acción, un “pico” de descarga eléctrica. La habilidad de las células de producir una descarga eléctrica es crítica para las funciones del cuerpo como la neurotransmisión, contracción muscular y funcionamiento del corazón¹. El órgano de Corti es una estructura altamente

¹[https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Potassium-ion.\(n.d.\)](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Potassium-ion.(n.d.)) *National Center for Biotechnology Information (2020). PubChem Compound Summary for CID 813, Potassium ion.* [Fecha de acceso: 06/03/2020]

2. MARCO TEÓRICO

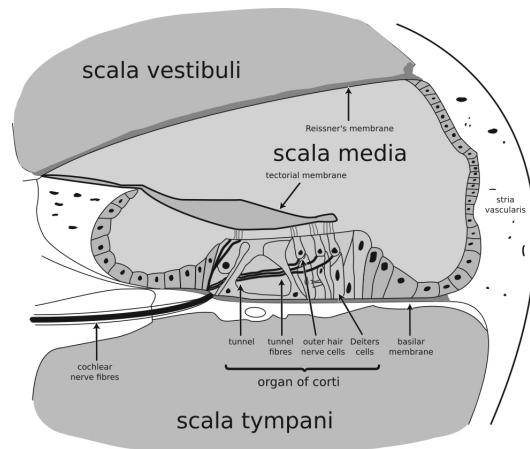


Figura 2.2: Cóclea seccionada. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cochlea-crosssection.svg> [Color de la imagen modificada a escala de grises].

especializada; situado en la membrana basilar, constituye el transductor auditivo y contenedor de las células ciliadas, que son las unidades receptoras, junto con las inervaciones y células de soporte. Éstas consisten en una hilera de células ciliadas interiores y exteriores. Son alrededor de 15,000 de ellas en cada oído en los humanos (Pickles, 2012). Dichas células ciliadas están inervadas a fibras nerviosas que envían señales auditivas al cerebro (neuronas aferentes), y otras células nerviosas que se encargan de señales que van del cerebro al interior del oído y sirven de influencia en la función coclear en una retroalimentación (eferentes).

Las células ciliadas exteriores son células accesorias sensoriales que ensanchan la sensibilidad y la selectividad de la cóclea (Raphael, 2003). Esto indica la importancia tanto de las células ciliadas como del aparato coclear en las funciones del oído. A estas células se les considera encargadas de realizar el análisis del sonido sin importar su complejidad; en este proceso el análisis de frecuencia, dinámica y localización en el espacio es continuo, información que se transmite de manera similar hasta el cerebro. La actividad analítica deviene actividad eléctrica o sinapsis, que puede interpretarse como principio de transducción, donde un tipo de energía se convierte en otra. Como sucede aquí, de energía acústica, por ende mecánica, a energía eléctrica. Esto lo confirman autores como Pickles, lo cual indica que cuando sucede la transducción y el momento subsecuente implica una serie de reacciones fisiológicas, neuronales y psicológicas. Tales respuestas generan una actividad eléctrica cerebral, lo cual deriva en gran cantidad de investigaciones al respecto.

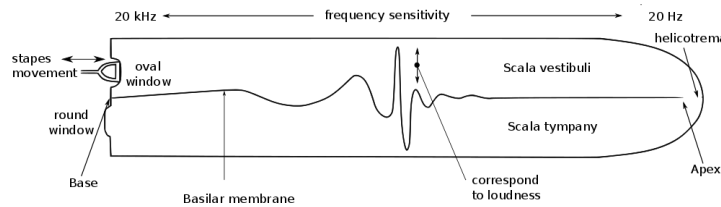


Figura 2.3: Cóclea desenroscada. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cochlea-crosssection.svg>

El procesamiento auditivo en los humanos puede distinguirse por dos regiones fundamentales diferentes. En la región periférica las oscilaciones conservan su carácter original y ocurre el pre-procesamiento, no obstante en esta etapa se producen las no linealidades. Las estructuras periféricas conducen las oscilaciones hacia las células sensoriales, las cuales poseen terminales que codifican el estímulo mecánico/eléctrico en acciones de potencial. La segunda región del sistema auditivo usa el procesamiento neuronal, lo cual deriva en sensaciones auditivas. Esta división en dos partes del sistema auditivo se observa en los órganos auditivos de todos los vertebrados (Zwicker y Fastl, 2007). De esta forma podemos comprender que el procesamiento neuronal involucra al sistema auditivo central, incluyendo los núcleos subcorticales de la vía y corteza auditivas.

Cabe mencionar que al parecer tanto el nervio auditivo, el núcleo coclear, el colículo inferior y la corteza auditiva, que pertenecerían a la vía auditiva central, presentan tonotopía o sensibilidad tonotópica (Jara y Délano, 2014). Según autores como Biacabe el sistema nervioso central tiene el papel de extraer el mensaje en bruto, de relevo en relevo, nuevas informaciones, particularmente sobre la localización de la fuente sonora en el espacio y la codificación de los sonidos complejos. También indica que las vías auditivas ascendentes guardan una organización compleja y sus estructuras reciben informaciones binaurales, es decir, provenientes de los dos oídos (Biacabe y otros, 2000). El papel fisiológico del sistema eferente sigue sin conocerse bien. Según Biacabe el sistema eferente medial podría estar implicado en la protección y en la dinámica del oído interno, principalmente en presencia de ruido (Biacabe y otros, 2000).

Por lo anterior no podemos entender al sistema auditivo sólo como un sistema simplista o mecánico, según García-Albea:

el estudio de la audición se enmarca en el ámbito más extenso del estudio de la percepción, la cual se puede concebir, en un sentido más amplio, como la actividad cognitiva inducida por la presentación física del objeto a través de los sentidos (Ristol, 1999).

De acuerdo con esta definición, Enric Munar concluye que:

la audición es activada por la emisión de sonidos, se realiza a través del sistema auditivo e informa al sistema cognitivo sobre algunos atributos de las fuentes sonoras (identificación, posición en el espacio, etc). De igual manera sugiere que resulta determinante distinguir entre el evento acústico (fenómeno físico) y el evento auditivo (fenómeno psicológico que se produce, en parte, como consecuencia del evento acústico), los cuales no necesariamente son idénticos en cuanto a la información que contienen. El evento auditivo es objeto de estudio de la psicología de la percepción, el evento acústico lo es de la física (Munar y otros, 2002).

El oído humano tiene sorprendentes habilidades para la detección y diferenciación de sonidos. Es sensible a un amplio rango de frecuencias tanto como de intensidades, y con una resolución temporal extremadamente alta (Koelsch, 2012); inclusive la música puede activar mecanismos cerebrales relacionados con los procesos semánticos que se originan en el lenguaje (Koelsch y otros, 2004).

Más allá del oído externo, medio e interno, el sistema auditivo se refiere a un sistema de conexiones eléctricas y sensoriales que se establecen en serie y en paralelo llegando al cerebro. A lo largo del trayecto, estas conexiones, sensibles a estímulos sonoros externos, activan procesos fisiológicos, mecánicos y eléctricos, incidiendo así en el comportamiento de los seres humanos, en donde la percepción y cognición del sonido, la música y el lenguaje confluyen en la trascendente relación entre el oído y el cerebro.

La creación musical y la experimentación sonora significan una serie de saberes que no puede comprenderse de manera simple sin tratar de explicar sus orígenes. En la línea de la composición resulta muy interesante cómo distintos autores se aproximan a estos conceptos, dando lugar al desarrollo de corrientes como la música espectral, por ejemplo, donde las cualidades del sonido son impulsadas hasta los límites de nuestra escucha, cayendo en ocasiones en imaginarios subliminales.

2.2. Consonancia, disonancia y organización tonotópica

En la historia de la música, la consonancia y la disonancia han sido tema de un largo debate y una serie de discusiones que atienden a la percepción de la combinación de los sonidos, lo que muchas veces ha llevado a relacionar estos atributos audibles a juicios de valor inclusive desde la visión estética, diferenciando algunas combinaciones como placenteras o desagradables, rasgo que se extiende con la visión eurocentrista de la armonía occidental que divide a las tradiciones musicales y trata de entenderlas como tradiciones “dentro o fuera” de tono, por ejemplo, sin observar los aspectos culturales y sensoriales que las atraviesan, de

acuerdo con Tenney, sobre todo por la manera de entenderlos semánticamente en ese momento histórico. Sin embargo, algunas formulaciones teóricas vistas desde la ciencia correlacionan la consonancia y disonancia con los batimentos (Tenney, 1988). Hermann von Helmholtz, en *Las sensaciones del tono* explica la consonancia y la disonancia desde una postura científica, a diferencia de la estética, para exhibir sus causas y sus repercusiones que, de manera natural, se dan en el oído, aunque esto generó dos ramas en la comprensión de estos conceptos que continúan hasta nuestra época. Algunos teóricos musicales se refieren sólo a la consonancia y la disonancia de manera funcional, mientras que los teóricos de la ciencia lo hacen en el sentido que Helmholtz le da, en donde la percepción de los batimentos y, en menor grado, de los tonos de combinación, se manifiesta sensorialmente (Tenney, 1988).

Uno de los conceptos sustanciales surgidos de la psicoacústica es la organización tonotópica,² la cual podemos comprender como un sistema donde, de manera jerárquica, el abanico o espectro³ de frecuencias audibles encuentra su lugar. Dicha representación, empezando por el núcleo coclear y siguiendo el recorrido hasta el córtex auditivo, comparte la característica de que las frecuencias altas se agrupan al final de la misma estructura, mientras que las frecuencias bajas se agrupan al final del otro lado y con una curva o gradilla continua entre ellas (Hackett, 2015). Por lo anterior se han desarrollado muchas investigaciones y estudios académicos, como los que examina la organización topográfica de las respuestas espectrales en el córtex auditivo, tanto de animales como en humanos con aplicaciones como la resonancia magnética funcional (fMRI),⁴ con la cual establecen las regiones donde existe una alta sensibilidad a frecuencias de distintas alturas. Desde la ciencia se aclara cómo el sistema auditivo funciona en relación con esta particularidad, tema de vital importancia en el ámbito de la música.

Autores como Vassilakis nos ayudan a comprender que los sonidos musicales son representados por vibraciones cuyas características cambian con el tiempo; estos cambios pueden tratarse de la interacción de dos señales de sonido que regularmente generan entre sí interferencias de onda. Éstas son manifestadas por la velocidad de fluctuación de amplitud, lo que se adscribe a tres categorías:

Fluctuaciones de amplitud lenta (20 por segundo) que son percibidas en relación al volumen refiriéndose a ellas como batimento. Cuando la velocidad de fluctuación es incrementada, el volumen parece ser cons-

²Tonotopía (del Griego=frecuencia y topos=lugar)

³También concebido como descomposición espectral de frecuencias que se analiza mediante la transformada de Fourier acción que permite descomponer algo complejo en parte simples.

⁴Procedimiento clínico que permite mostrar la imagen del flujo sanguíneo en las regiones cerebrales que se activan al ejecutar una tarea determinada.

2. MARCO TEÓRICO

tante y las fluctuaciones son percibidas como oscilaciones o rugosidad. Ante el incremento de velocidad, la sensación de rugosidad disminuye gradualmente hasta desaparecer (Vassilakis, 2001).

Si esto se toma en perspectiva representa el andamiaje del constructo más complejo que se genera en la música, como el timbre o la armonía; así, las variaciones en las fluctuaciones de amplitud representan los sonidos musicales.

Uno de los ejemplos más claros en el uso perceptual de los atributos de la fluctuación de amplitud puede ser encontrada en la construcción de instrumentos y en las prácticas performáticas de diversas culturas [...] los efectos de batimento son alentados por las propiedades acústicas y las prácticas performáticas de los gongs en el *gamelan*⁵ (Vassilakis, 2001).

Mientras que, a partir de un análisis desde la cultura occidental, se refiere a estos atributos como “fuera de tono”, para las tradiciones javanesas y balinesas los resultados tímbricos de estas combinaciones tienen un importante significado simbólico constituido por representaciones de ciertos sonidos naturales (lluvia, tormenta, océanos, erupciones volcánicas, etc.) (Vassilakis, 2001), por lo que es necesario ser más prudentes en este tipo de conjeturas, que seguramente seguirán siendo tema de debate por más tiempo.

Harvey Fletcher en 1933 explica el término psicológico del volumen que describe la magnitud de la sensación auditiva (Fletcher y Munson, 1933), e introduce el concepto de banda crítica en el contexto del enmascaramiento auditivo. En este concepto, a una banda de frecuencia que existe alrededor de la frecuencia central se le llama banda crítica (Zwicker, 1961). Los componentes de esta banda crítica afectan el nivel de sonido, así como la percepción de tono. Al estudiar la respuesta auditiva a los sonidos complejos de dos o más componentes Fletcher propone que:

La distancia en milímetros entre las posiciones de la máxima respuesta de la membrana basilar de los dos componentes es proporcionalmente más parecido a las diferencias de tono que a las diferencias en frecuencia (Fletcher y Munson, 1933).

Todo esto lo podemos representar como una serie escalonada de filtros auditivos, es decir, una serie dividida en anchos de banda, como sugiere Fletcher:

⁵Término genérico aplicado a gran variedad de conjuntos instrumentales de Java y Bali, que difieren en tamaño, función y estilo musical. Los instrumentos empleados son gongs colgantes de distintos tamaños, instrumentos fabricados con placas de bronce sobre resonadores, xilófonos, etc.

Para frecuencias inferiores a 2,000 ciclos, el ancho de banda es de 100 ciclos; para frecuencias entre 2,000 y 4,000 ciclos, el ancho de banda es de 200 ciclos; para frecuencias entre 4,000 y 8,000 ciclos, el ancho de banda es de 400 ciclos; y para frecuencias entre 8,000 y 16,000 ciclos, el ancho de banda es de 800 ciclos.(Fletcher y Munson, 1933)

Esto resulta en la comprensión de la organización tonotópica en relación con el volumen o las curvas de igualdad de intensidad, así como las consecuencias acústicas de la combinación de dos componentes que, al interactuar, generan sensaciones de batimento o rugosidad.

Estas sensaciones de batimento y aspereza según Juan Sebastián Lach:

son fluctuaciones de amplitud que ocurren debido a la interferencia constructiva y destructiva de las ondas sonoras. La rapidez de las fluctuaciones de amplitud que forman dos ondas que se superponen es igual a su diferencia en Hertz. Cuando dicha diferencia es menor a 20 Hz las fluctuaciones lentas se perciben como tremolo o batimentos, las más rápidas corresponden a diferencias mayores y son las responsables de sensaciones como la aspereza. Las diferencias de frecuencia que producen mayor sensación de aspereza varían con el registro de la escucha. Esta variación se encuentra en función de la fisiología de la cóclea y se llama banda crítica.(Lach, 2008)

En 1961, Zwicker realiza una serie de mediciones de la banda crítica, subdividiendo el rango de la frecuencia audible en bandas críticas y asumiendo al “bark” como unidad de esta medida:

éstas fueron medidas en experimentos dentro de los umbrales de sonidos complejos, en el enmascaramiento, en la percepción de la fase y muy a menudo en el volumen de sonidos complejos. En todos esos fenómenos la banda crítica parece jugar un papel importante. Cabe señalar que las medidas tomadas hasta ahora tienen un cierto ancho, pero su posición en la escala de frecuencia no es fija, cambia constantemente por sí misma. Además las subdivisiones en la banda crítica parecen estar correlacionadas de cerca con la mecánica coclear y la discriminación de frecuencias (Zwicker, 1961).

Podemos considerar que la banda crítica constituye una serie de filtros imaginarios en la cóclea, activados independientemente y sensibles a frecuencias específicas, por lo que se activarán filtros cocleares distintos si las frecuencias se encuentran separadas, en contraposición un solo filtro si las frecuencias son cercanas, lo cual resultaría en una sensación auditiva consonante o disonante respectivamente.

2. MARCO TEÓRICO

De modo que, basados en un modelo de la cóclea similar a la respuesta de bancos de filtros digitales tenemos al cocleograma, con el cual es posible representar gráficamente las relaciones temporales y de frecuencia de un sonido. El patrón del cocleograma se forma con la ayuda de los bancos de filtros auditivos *gammatone*; lleva a cabo un análisis espectral y convierte la señal acústica en una representación multicanal del movimiento de la membrana basilar (Chaurasiya, 2020).

Esto nos hace comprender la cóclea como un dispositivo biológico capaz de analizar el espectro audible. Un instrumento activo que va discriminando la información acústica que se alberga en la memoria del individuo; esa huella acústica nos ayuda a diferenciar el timbre de distintos instrumentos, distinguir la voz de una persona familiar, o reconocer la experiencia de algún evento sonoro que, por alguna razón, juzgamos interesante. Dicha experiencia está representada por el vasto universo sonoro que observamos en la actualidad, donde se interpelean músicas históricamente informadas, populares, sonidos de la urbe, de las máquinas; sonificaciones de dispositivos dedicados a la clínica, músicas y timbres distintos concebidos en los circuitos análogos o digitales. Esto supone en términos generales que el ser humano contemporáneo, como afirman algunos autores, está más familiarizado con los sonidos de su época. Como comenta Robles de la Puente:

Desde un punto de vista filogenético, el ser humano con el tiempo ha alcanzado una percepción más fina, captando cualidades más sutiles y resonancias más lejanas. (Robles, 2013)

Esto da lugar a considerar que, por medio de procesos de adaptación, el ser humano es capaz de ajustarse a las condiciones interpuestas en esta agencia; por lo tanto, es capaz de dotar de mayor sensibilidad e incluso afinidad a la disonancia que resulta frecuentemente en músicas contemporáneas como el jazz y la música de concierto surgida desde principios del siglo XX.

2.3. Tonos de combinación: una respuesta no lineal de la escucha

Desde hace tiempo se sabe que la combinación de dos tonos simultáneos con un intervalo en particular, genera una tercera frecuencia que no se encuentra entre las que se presentan de manera original. Por ello este fenómeno se ha estudiado experimentalmente desde ángulos diversos. Uno de los grandes intereses se concentra en la mecánica coclear, que ante la presentación de estos tonos primarios, así como en su combinación, genera el estímulo que permite percibir de manera prominente la frecuencia resultante; de igual forma, es importante el papel que tiene en las tareas de enmascaramiento auditivo (McFadden y otros, 2012).

Según Roederer, desde el enfoque de la percepción del tono:

Escuchamos un sonido cuando el tímpano se establece en un tipo característico de movimiento llamado vibración. Esta vibración es causada por pequeñas oscilaciones de presión del aire en el canal auditivo asociadas a una onda sonora entrante (Roederer, 2008).

Es decir, dicha sensibilidad discrimina los sonidos simples de los complejos; cuando escuchamos un tono puro debe considerarse que se trata de un sonido que deriva en un movimiento armónico simple de nuestro tímpano, el cual tiene características constantes como frecuencia, amplitud y fase.

Cuando superponemos dos tonos puros, debido a su interacción encontramos resultados relativos al lugar dentro de nuestro sistema auditivo en donde se procesan estos efectos. Si el procesamiento es mecánico, ocurre en el líquido coclear y a lo largo de la membrana basilar: a esto le podemos llamar efectos de superposición de primer orden. Los efectos de superposición de segundo orden son resultado del procesamiento neuronal y son más difíciles de detectar, describir y medir sin ambigüedad (Roederer, 2008). De modo que los estímulos físicos sólo conducen a sensaciones auditivas si sus magnitudes físicas se encuentran dentro del rango relevante para el órgano auditivo (Zwicker y Fastl, 2007).

Estos efectos de superposición de primer orden se experimentan con claridad al presentar dos frecuencias simultáneamente. Si las frecuencias f_1 y f_2 , tienen una relación de $f_2/f_1 = 1.22$, en un registro agudo entre 1,000 y 5,000 Hertz, de modo que si, hipotéticamente, tuviésemos una frecuencia a 2,000 Hz (f_1), que corresponde a una nota Si índice 6, tendríamos la segunda frecuencia a 2,440 Hz (f_2), correspondiente a un Re sostenido índice 7, lo que conformaría un intervalo de tercera mayor. Además, como resultado de esta ecuación percibiríamos una tercera frecuencia no presente en el estímulo con una altura aproximada a 1,560 Hz que corresponde a un Sol índice 6.

La combinación más identificable se conoce como diferencia de tono cuadrática (QDT: por *Quadratic difference tone*) $f_2 - f_1$ y la siguiente, bastante identificable, se conoce como diferencia de tono cúbica (CDT: por *Cubic difference tone*) $2f_1 - f_2$. Sin embargo, surgen componentes menos identificables que en teoría son enmascarados o atenuados.

Según Roederer estas sensaciones de tono extra no están presentes en la vibración sonora original del tímpano, ni siquiera en la entrada de la cóclea. Dicha activación se encuentra en regiones de la membrana basilar correspondientes a las frecuencias de los tonos de combinación. Se cree que son causadas por una distorsión “no lineal” del estímulo de onda primaria en la cóclea (Roederer, 2008).

La linealidad según Moore es un concepto que se utiliza con frecuencia en la investigación auditiva. El sistema auditivo a menudo se concibe formado por una serie de etapas, la salida de una fase determinada que forma el acceso a la siguiente. Cada una de ellas puede considerarse como un dispositivo o sistema,

2. MARCO TEÓRICO

con entrada y salida (Moore, 2012). Por lo tanto, para un sistema lineal deberán cumplirse las dos condiciones siguientes:

Si la entrada al sistema se cambia en magnitud por un factor k , entonces la salida también debe cambiar en magnitud por un factor k , pero de lo contrario no se alterará. Esta condición se llama “homogeneidad”. La salida del sistema en respuesta a un número independiente de entradas presentadas simultáneamente, debería ser igual a la suma de las salidas que se habrían obtenido si cada entrada se hubiera presentado sola. Esta condición se conoce como “superposición” (Moore, 2012).

Ya que estas condiciones no se cumplen con los tonos de combinación, consideraremos entonces que se trata de un sistema no lineal, el cual corresponde a la presentación de dos tonos que generan la percepción de un tercer sonido no contenido dentro del estímulo original.

Si la entrada a un sistema no lineal consta de dos sinusoides, entonces la salida puede contener componentes con frecuencias correspondientes a la suma y la diferencia de las dos frecuencias de entrada, y sus armónicos, así como los componentes sinusoidales originales que estaban presentes en la entrada. Se dice que estos componentes adicionales son el resultado de la distorsión de la intermodulación. Por ejemplo, si la entrada contiene dos sinusoides obtenemos los siguientes componentes: $f_1 - f_2$, $f_1 + f_2$, $2f_1 - f_2$, $2f_2 - f_1$, etc. Estos componentes se conocen como productos de distorsión de intermodulación y, en el caso del sistema auditivo, también se llaman tonos de combinación (Moore, 2012).

Los sistemas no-lineales, además de reproducirse constantemente en diversos campos como las ciencias químicas, físicas, incluso en los sistemas económicos y financieros, comparten una definición genérica: la respuesta a la combinación del estímulo no es una simple suma algebraica de respuestas individuales (Avan y otros, 2013). En otras palabras, se podría entender como un sistema en donde el resultado de salida no es proporcional a la suma de las fuerzas de entrada; es aquí donde los tonos de combinación se conciben como una respuesta no lineal. Por lo tanto, al parecer todas las manifestaciones no-lineales de la escucha como la distorsión, compresión, supresión y la actividad espontánea emergen del mismo proceso y coexisten entre ellas (Avan y otros, 2013).

Autores como Kendall consideran que la experiencia puede insertarse o extenderse a una situación musical mediante técnicas de síntesis. Propone la síntesis aditiva directa, síntesis sinusoidal dinámica y la modulación de un solo lado de

banda. Por ejemplo, la síntesis aditiva directa demostrada por Pressnitzer y Patterson en 2001.

se conforma a través de la presentación de múltiples tonos de los armónicos superiores de una fundamental, sintetizados consecutivamente. Produciendo así un espectro armónico del tono de diferencia cuadrática. El volumen individual de los componentes armónicos de ese espectro, son la suma de contribuciones de QDT producidas por cada par de tonos puros. De manera que se pueden utilizar una serie de frecuencias sin necesidad de ser armónicos de fundamental, ellos solo necesitan estar separados por una frecuencia de intervalo constante (Kendall y otros, 2014).

El descubrimiento de Kemp, que un producto de distorsión $2f_1-f_2$ puede medirse acústicamente en el canal auditivo, ha conducido de forma natural a preguntas relativas a su relación con el tono de combinación en la misma frecuencia que se puede escuchar y medir psicoacústicamente (Furst, 1988). Sin embargo, el estudio fisiológico de emisiones otoacústicas y la percepción de tonos de combinación no tienen alguna relación clara observable. Existen estudios que más bien disocian los resultados fisiológicos de los conductuales, sobre todo debido a que las emisiones otoacústicas de Kemp no son evidentes a la escucha y sólo son perceptibles en estudios de laboratorio y con equipo especializado para esta tarea.

Todas estas evidencias se adhieren a distintas aproximaciones que surgen de la investigación de las últimas décadas en este rubro, las cuales, mediante estrategias y técnicas como los estudios de resonancia magnética, electroencefalogramas, modelos matemáticos cocleares y redes neuronales, en términos generales arrojan evidencia y confirman cómo el sonido se relaciona con el ser humano no sólo a nivel físico, sino en términos de una sensación o evento, ya sea emocional, psicológico o fisiológico.

2.4. Diferencias interaurales: la imagen espacial del sonido

El estímulo que produce el tercer sonido, del que hemos estado hablando, también posibilita sensaciones de lateralidad cuando se manifiesta, noción que si bien nos referimos a ella desde la perspectiva auditiva, está relacionada con diversos estudios sobre los aspectos cognitivos de las personas zurdas y diestras, así como de la especialización hemisférica cerebral (Cantú y otros, 2017). Sin embargo, en términos generales es bastante inestable, por lo que para seguir comprendiendo

2. MARCO TEÓRICO

este fenómeno es necesario entender las nociones de cómo se localiza un sonido de manera regular y los mecanismos que gobiernan este proceso.

Las claves más importantes para la localización espacial de sonido en el plano horizontal son las diferencias interaurales que se dan entre ambos oídos (Munar y otros, 2002), lo que se concentra sobre todo en las modificaciones que ocurren en las señales que llegan a nuestros oídos, en relación con la dirección y a la distancia del evento sonoro. Los pabellones auditivos, la cabeza, el cuello y el torso actúan de forma combinada, recibiendo los estímulos del campo acústico y transformándolos en su recorrido al oído medio a través de los tímpanos. Cualquier modificación de las características de la señal acústica, relacionada con la posición de la fuente, se convierte en un indicio potencial para la localización (Cetta, 2003). De esta manera consideraremos que las diferencias de tiempo, intensidad, de fase o espectrales construyen una experiencia aural de distintas proporciones, lo cual pone en perspectiva las posibles implicaciones de esta sensibilidad auditiva ante sonidos de distinta naturaleza, complejos, simples, musicales o sensoriales.

La diferencia interaural de nivel de presión sonora (ILD, por *Interaural Level Difference*) se debe a la acción separadora, o filtro natural que representa la cabeza actuando como pantalla. Para frecuencias con longitud de onda menores al diámetro de la cabeza no se produce difracción sino sombra acústica [...] La diferencia interaural de tiempo (ITD, por *Interaural Time Difference*) también depende del pequeño retardo entre las señales que arriban a cada uno de los oídos, asociado a la diferencia entre los caminos recorridos. Ambas diferencias interaurales dependen ampliamente del ángulo de posicionamiento de la fuente [...] Las funciones de transferencia del oído, reconocidas por sus siglas (HRTF, por *Head Related Transfer Functions*), dependen de la frecuencia, de la distancia de la fuente, del ángulo de azimut y del ángulo de elevación (Cetta, 2003).

La espacialidad, entendida como el control sistemático de las variables relativas a la percepción de localización y desplazamiento de las fuentes sonoras, no ha formado parte de los parámetros musicales estudiados teóricamente; no es hasta que aparecen los primeros trabajos de música concreta a mediados del siglo XX cuando estas relaciones entre los dispositivos que difunden el sonido, la posición en el campo estéreo donde éste se coloca y la posición del receptor comienzan a tomar sentido, sobre todo para la música electroacústica. De este modo, aspectos psicológicos, psicoacústicos y cognitivos se conjugan en el proceso de la escucha de música acusmática (Schumacher, 2021).

Como podemos notar el sistema auditivo tiene gran sensibilidad a la relación entre el lugar donde se produce un evento acústico y el lugar donde se percibe, generando ese plano horizontal que nos permite diferenciar la producción de

otros eventos concebidos desde otros lugares, sin embargo, este comportamiento es completamente distinto cuando exponemos el oído a una combinación de frecuencias que generan el tercer sonido que se investiga en este trabajo, por lo que podemos considerar que se trata nuevamente de una respuesta no lineal de la escucha.

2.5. Aspectos fisiológicos del oído en el mundo de las artes

El siglo XX trae consigo una serie de circunstancias y de oportunidades para que la ciencia y la tecnología se desarrollen con amplitud y tengan un crecimiento exponencial en las últimas décadas. Las guerras mundiales y la revolución industrial desencadenaron una profunda transformación en la sociedad. Las repercusiones pueden notarse en aspectos como los hábitos y costumbres en el uso de herramientas tecnológicas del hombre moderno, así como por los cambios de paradigmas y el surgimiento de nuevas problemáticas. Esta sutil transformación en los paradigmas se visibiliza en la propuesta de los futuristas que, atravesados por el crecimiento de la industria y de las urbes, rompen el esquema de cómo pensamos la música y el ruido, el cual se asocia, en el mejor de los casos, con la ausencia de orden, de trabajo o de norma, ya sea la norma estadística, moral o estética. En el peor de los casos, el ruido es identificado como una amenaza para la norma y es subversivo para el trabajo y el orden: una perturbación, la pérdida de la energía destinada para el trabajo, un parásito (Malaspina, 2018).

Dicha ausencia de orden ha permitido encontrar en el sonido elementos que, desde el manifiesto futurista, vienen proponiendo el ruido como componente esencial en la música; las tecnologías digitales especializadas en sonido incluyen la generación de ruido como fundamento de varios procesos de síntesis para la creación y el diseño de sintetizadores. A su vez, la era digital trae la concepción del mundo *discretizado*, donde la cuadrícula se sobrepone a la curvatura, no hay espacio para otras posibilidades más que para unos o ceros y, de esta manera, para ser cuantificables. Más allá de las problemáticas filosóficas que surgirían de las líneas anteriores, queremos poner bajo contexto que estos nuevos modelos representan nuevas formulaciones, por lo tanto nuevas formas de resolver problemas fundamentales, situación que vemos en campos como las artes y las ciencias.

El descubrimiento del fenómeno de los tonos de combinación se atribuye al violinista Giuseppe Tartini, quien en 1754 publica el *Trattato di Musica secondo la vera scienza dell'armonia*, donde explica y pone a discusión el término de “tercer sonido”, peculiar experiencia que se genera gracias a dos instrumentistas al violín, que tocan al mismo tiempo y producen un sonido tenido con un intervalo en particular, lo que genera un tercer sonido ausente en el estímulo.

Más adelante existen ejemplos de esta particularidad en algunos casos, pero

2. MARCO TEÓRICO

no es hasta que la compositora de música electrónica Maryanne Amacher publica su producción fonográfica *Sound Characters (Making The Third Ear)* (Amacher, 1999) y retoma la batuta creativa en esta línea, utilizando esta materia prima como punta de lanza en el sentido de que su práctica artística, por demás interesante, inserta una situación fuera de su campo que sirve como un ejemplo más de los cruces entre el arte, la ciencia y la tecnología. Maryanne Amacher se refiere a la sensación que deja este fenómeno como un “tercer oído”, sonidos “fantasma”; una especie de cartografía sensorial, aural, capaz de mapear o registrar tanto el sonido que proviene de los altavoces, como el que se percibe dentro del oído; una especie de espacio sonoro que, como menciona Mikel Arce, podríamos considerar abstracto y desprovisto de materia, o no es su principal interés. Lo que importa es la sensación, su presencia y la constatación de la nuestra en ese espacio a través de la sensación sonora percibida (Arce, 2014).

De esta forma la compositora realiza esta especie de construcción etérea en donde la experiencia se convierte en un todo, el estímulo y el resultado en conjunto y que, además, puede ser controlada por uno mismo como espectador, al desplazarse o girar y resonar en distinto grado según la posición y disposición corporal. En distintas entrevistas reconoce el lugar que tienen el cerebro y el oído para la comprensión de dicho fenómeno, así como el emplazamiento de la obra o *performance* en el espacio, o la distribución de los dispositivos difusores de sonido colocados cuidadosamente en la galería, museo o foro para obtener los resultados en óptimas condiciones. Como expresa en el texto de 2008 *Fenómeno psicoacústico en la composición musical*, parte de su trabajo es traer a la luz estas sensaciones removiendo su estatus subliminal.

Ya que el trabajo busca formas de componer con tonos adicionales, de modo que los tonos que se originan en la anatomía humana existan por derecho propio, es decir deriven perceptualmente en algo más que un accidente de tonos acústicos en la habitación y se logre una interacción consciente con ellos (Amacher, 2008).

Para esto desarrolló el concepto de geografía perceptual, el cual ayuda a prepararnos ante la existencia de esas sensaciones de tono distinguiéndolas en el espacio y el tiempo, perceptualmente (Amacher, 2008).

Esto coloca a los involucrados en este tipo de experiencia en una situación en particular que pone en juego la manera como se perciben tanto las frecuencias audibles presentadas como las resultantes, cumpliendo con sensaciones distintas en cuanto al espacio donde son percibidas, por lo que parecieran una ilusión al no pertenecer a las frecuencias correspondientes al estímulo y por que se escuchan dentro del oído, lo cual invita a experimentar el sonido que proponemos musical, pero también sensorialmente.

En las últimas décadas muchas producciones musicales ponen bajo relieve este tipo de propuesta en donde los sentidos son estimulados con aspectos extra-musicales que, por lo general, se relacionan en mayor medida con la física o la psicoacústica, como el efecto de reverberación, el cual se manifiesta como la persistencia de un fenómeno acústico en un recinto o lugar cerrado en específico; con lo que podemos presentar un sonido cual si se activara dentro de un espacio en donde sus muros, de tamaños y materiales distintos, reflejan o absorben el sonido en diversas proporciones, permitiendo una cierta arquitectura o la emulación de ésta en un nivel o dimensión acústica.

Otras aproximaciones al fenómeno del que venimos hablando, pero ahora desde un instrumento acústico, lo propone el saxofonista Evan Parker; dedicado a la improvisación, ha producido una gran cantidad de materiales donde explora sus habilidades en las técnicas extendidas propias de su instrumento que, al ser no temperado, consigue una labor minuciosa respecto a las alturas.

Destaca el trabajo que transita esos límites imposibles para muchos otros instrumentos, pero que para el suyo son una posibilidad que explota en gran medida y se comprueba en el uso de técnicas extendidas como respiración circular y producción de armónicos; incluso por momentos podríamos pensar que suenan más instrumentos, los cuales activan sensaciones, si no idénticas, muy cercanas a las que se generan con dos instrumentos que suenan de manera simultánea. Dicha activación resulta similar a lo que puede lograrse con instrumentos electrónicos, lo que derivaría en sensaciones de tonos de combinación.

Lo anterior se encuentra plasmado en su obra magna: *Monoceros* (Parker, 1978). Cabe mencionar que este material fue concebido en sesiones de improvisación en el estudio, con la particularidad de que muchos críticos consideran esto una situación “purista” debido a que la idea principal de cómo manipular el sonido era prácticamente nula, ya que la señal de audio capturada por los micrófonos estaba directamente encaminada hasta la máquina de cortado de laca en la producción de un acetato o vinilo, proceso donde la máquina convierte la señal eléctrica derivada del sonido en el movimiento mecánico de la aguja de corte. Esta situación comprendería, en el caso de la producción de este material, un paso directo, sin edición ni repercusiones de ningún otro dispositivo extra en el camino, lo cual da indicios de que la sensación que Evan Parker capturó permite disfrutar, apreciar y percibir lo que fue logrado sólo con su instrumento y no contiene ningún otro proceso, efecto o sonido residual que pudiese “ensuciar” la señal de audio que capturaba mientras ocurría la interpretación. Sin duda su trabajo se situaría dentro del género del jazz y la improvisación libre, sin embargo, por los resultados consideramos que dialoga con compositores y corrientes estéticas donde nociones como la de los parciales,⁶ a pesar de ser fundamento de la mú-

⁶La teoría de Fourier plantea que cualquier señal compleja puede ser descompuesta en

2. MARCO TEÓRICO

sica, de la armonía y del timbre, transitan otros cauces, como lo hace la música espectral, que Dufourt explica en estos términos:

La música espectral representa un cambio en los caminos de pensar la música. Ya no es música basada en las categorías tradicionales y divisorias entre melodía, contrapunto, armonía o timbre. La música espectral, al contrario, es la música de las categorías de en medio y de objetos híbridos. Estos objetos aguardan en la frontera de dos o más dimensiones, timbre y armonía, armonicidad e inarmonicidad, tono y ruido, ritmo y grano. La música espectral es la exploración de las transiciones continuas entre los dominios tradicionales dominantes; crea mixturas y trabajos que violentan los umbrales de la percepción. La música de finales del siglo descubre irresistiblemente el color, como una dimensión predominante y autónoma en su lenguaje. Podemos definirla como el arte de la modulación del color (Zattra, 2018).

Algunos ejemplos del trabajo de compositores como James Tenney,⁷ Alex Chechile⁸ o Phill Niblock⁹ son relevantes en esta investigación, ya que exploran con instrumentos acústicos tanto como electrónicos las fronteras y los umbrales del sonido y la capacidad del ser humano para percibir sus atributos, representados por un lenguaje musical renovado que genera nuevos cruces disciplinares.

El signo sonoro se vuelve interactivo y se carga de una sustancia que de manera profunda inunda los confines más recónditos del ser humano; más allá de las connotaciones espirituales, estimula al cerebro con información que desprende sensaciones de placer o de vigilia. Finalmente, la intuición y el razonamiento se funden en el acto creativo; es imposible separarlos para fines de una investigación artística.

De modo que la audición es un mecanismo sensorial en donde el oído interno representa la sección más importante del sistema ya que actúa como transductor, es decir, recibe energía acústica del exterior y suministra otra, en este caso, energía una suma de ondas sinusoidales sobre un marco infinito de tiempo, especificando precisamente las amplitudes y fases relativas. Es posible descomponer un sonido complejo en una suma de tonos, los cuales llamaremos parciales del sonido, que provienen del espectro sonoro, ya que la naturaleza del fenómeno acústico se percibe en dos formas, por un lado centrado en el tiempo y por otro en las alturas. (Pressnitzer y McAdams, 2000)

⁷*Critical Band*: Pieza comisionada por el Ensamble Relâche, donde el compositor explora las posibilidades microtonales del ensamble.

⁸*On the sensations of Tone VIII* <https://vimeo.com/137218959> [Fecha de acceso 20/07/20]

⁹*Touch Strings - Stosspeng* <https://youtu.be/UUxoHVHX0II> [Fecha de acceso 22/07/20]

bioeléctrica que se transmite hacia el resto del sistema auditivo, lo cual finalmente conduce a la percepción del sonido. Las funciones tanto de la cóclea como de las células ciliadas son fundamentales para el desempeño del sistema en general ya que aportan información relativa a la altura, amplitud, complejidad de un sonido y su localización en el espacio. Dicha sensibilidad está circunscrita a la música como la conocemos, en donde la armonía y la síntesis de sonido exploran la combinación de alturas como punto de partida para su desarrollo. De igual forma, esta información acústica indispensable para la supervivencia del ser humano ofrece datos útiles del comportamiento del sonido en los distintos entornos posibles en donde se desarrolla, por lo que va más allá de una situación estética.

Ya que algunas tecnologías digitales dedicadas al trabajo con sonido permiten tanto el diseño como la programación de su comportamiento a través del tiempo, numerosos artistas, investigadores y músicos han utilizado plataformas de código abierto, libre y gratuito como Pure Data, Csound o SuperCollider para realizar ejercicios de síntesis de sonido y composición algorítmica lo cual democratiza el acceso, el mantenimiento y el uso de estos programas para crear e investigar diversos fenómenos acústicos. Es así que este trabajo aprovecha dichas tecnologías para experimentar con los tonos de combinación específicamente y los atributos relacionados a ellos, como son la disonancia, consonancia, aspereza o rugosidad y la lateralidad que se presenta con el fenómeno psicoacústico.

Diseño del experimento

Con el objetivo de experimentar los tonos de combinación se realizaron cinco piezas que exploran el fenómeno psicoacústico desde distintas perspectivas. Así mismo, se planteó la necesidad de utilizar diversas dotaciones instrumentales por lo que dentro de las propuestas contamos con música para ensamble, dueto y para instrumento solista. Tres de los materiales conforman parte de la producción fonográfica de mi autoría *Monochrome*,¹ publicada en 2018 en formato físico y digital. El resto están publicados en línea para su consulta.

Retratos al exterior propone tres piezas para flauta: *Selva*² para flauta amplificada, *Jungle*³ para flauta con procesos electrónicos y *Estepa*⁴ para dueto de flauta y laptop. *Leïmma*⁵ es una pieza de improvisación para ensamble mixto: flauta, clarinete, percusión y electrónica y fue presentado en concierto en el marco de Resonancias XIII, dirigido por el Dr. Jorge David García. *Locus*⁶ también puede consultarse en línea y su producción fue digital.

Estos materiales, además de cumplir con las expectativas artísticas desde un punto de vista estético, servirán para evidenciar las no linealidades de la escucha, mostrando cómo las experiencias a través de la experimentación del fenómeno, de manera subliminal, en mayor o menor grado pueden ser percibidas y apreciadas.

Para fines de esta investigación exploré el fenómeno de los tonos de combinación mediante procedimientos enfocados en los tonos dobles, principalmente, con recursos instrumentales, electrónicos o electroacústicos para la elaboración de la propuesta sonora y, en consecuencia, cuestionarnos la percepción del tercer sonido como respuesta a la combinatoria presentada.

¹<https://www.galogonzalez.com/monochrome.html>

²<https://www.galogonzalez.com/Selva.html>

³<https://www.galogonzalez.com/Jungle.html>

⁴<https://www.galogonzalez.com/Estepa.html>

⁵<https://www.galogonzalez.com/Leïmma.html>

⁶<https://www.galogonzalez.com/Locus.html>

3. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Lo primero fue la experimentación realizada en SuperCollider, de modo que se construyó una serie de instrumentos y sintetizadores que sirvieron como parte de las ideas desarrolladas a lo largo de este trabajo.

Como ya lo hemos revisado con Moore en el capítulo anterior, una combinación de dos frecuencias f_1 y f_2 , se descompone hasta obtener f_1 , $3f_1$, f_2 , $3f_2$, $2f_1 + f_2$, $2f_2 + f_1$, $2f_1 - f_2$ y $2f_2 - f_1$. De esta manera se reconoce también cuál es el componente más prominente de estos resultados ($2f_1 - f_2$).

Por otro lado, como varios autores sugieren, estos fenómenos psicoacústicos pueden percibirse a través de la presentación de una frecuencia contrapuesta con otra, ajustadas a razones de entre 1.11 - 1.22, donde las condiciones para distinguir el fenómeno se obtienen de manera más pronunciada.

De modo que si una frecuencia es afinada a 2,000 Hz (f_1), para ser multiplicada más tarde por una razón de $r = 1.22$, obtenemos como resultado una segunda frecuencia a 2,440 Hz (f_2); así, tendremos como frecuencias resultantes: $f_1 = 2,000$ Hz, $3f_1 = 6,000$ Hz, $f_2 = 2,440$ Hz, $3f_2 = 7,320$ Hz, $2f_1 + f_2 = 6,440$ Hz, $2f_2 + f_1 = 6,880$ Hz, $2f_1 - f_2 = 1,560$ Hz y $2f_2 - f_1 = 2,880$ Hz. De estas frecuencias, como comenta Moore y otros autores, puede escucharse de forma bastante notoria la frecuencia correspondiente al componente $2f_1 - f_2 = 1,560$ Hz (A.1) (A.1).

Ya que SuperCollider permite la síntesis y la composición algorítmica, el diseño de los estímulos y los experimentos están dispuestos en esta herramienta para más adelante explorar otros procesos de síntesis que puedan llevarse en el mismo, así como procesos de control de los parámetros de los sintetizadores. De este modo desarrollé un instrumento virtual que, en tiempo real, genera las condiciones para desencadenar las reacciones neurofisiológicas esperadas de los tonos de combinación como una experiencia musical interactiva⁷ desde una forma de escucha no convencional.

Exploré la síntesis aditiva directa, la cual sugiere que: $F(F = f_2 - f_1 = f_3 - f_2, etc)$. Por lo que si tuviésemos las mismas frecuencias primarias que en el ejemplo anterior tendríamos: $2,440 - 2,000 = 2,880 - 2,440$ (A.1) (A.1).

Lo anterior me llevó a desarrollar una función en SuperCollider para conseguir cualquier número de frecuencias a partir de cualquier altura y razones distintas (A.1).

Con la finalidad de compartir cómo es que se tomaron las decisiones para realizar el trabajo de composición de cada material, a continuación me permitiré relatar estos detalles siguiendo el orden de aparición de cada pieza. De igual forma, en el siguiente capítulo se realizará el análisis correspondiente de dichas

⁷La interactividad en el arte puede ser estudiada a través de los niveles de relación e impacto de las acciones de los espectadores dentro de la obra, por las relaciones que se generan entre ésta y los participantes y, paralelamente, por las relaciones entre los espectadores (Solís, 2018).

piezas que conforman esta investigación en donde los tonos de combinación se presentan dentro de una propuesta artística.

3.1. *Retratos al exterior*



Figura 3.1: *Retratos al exterior* [CMMAS]

Retratos al exterior está conformada por tres piezas que, sin necesidad de estar seriadas, pueden funcionar de manera individual o presentándose una después de la otra. Las tres están concebidas para traer a dialogar conceptos que se han enmarcado en corrientes estéticas como las de la música espectral, así como en la búsqueda de respuestas similares a los tonos de combinación generados desde un instrumento acústico. En esta trilogía se juega con el color, con contenidos armónicos e inarmónicos, con multifónicos, tono y ruido.

Retratos al exterior se estrena el 7 de junio de 2017; es interpretada por María Clara Lozada, en el encuentro Diálogos Transversales (2017) del Seminario Interdisciplinario de Creación e Interpretación, en el salón A10 de nuestra facultad. Así mismo, se presenta como parte de dicho encuentro en importantes escenarios como el de la Fonoteca Nacional el 13 de junio, y en el Centro Mexicano para la Música y las Artes Sonoras (CMMAS) el 16 de junio de ese año.

Como pudo advertirse en la introducción de este documento, *Selva* surge en 2012 y se estrena el 8 de agosto de 2013, siendo interpretada por el maestro Luis Emilio Palacios Quiroz y conformando parte del repertorio presentado en el recital final de la Licenciatura en música, especialidad en composición, la cual realicé en el Centro Morelense de las Artes. Posteriormente, sigue construyéndose y ajustándose hasta el estreno de *Retratos al exterior* y la realización de la producción fonográfica *Monochrome*.

3.1.1. *Selva*

The image shows a musical score for two flutes (Fl.) and a voice (VOZ). The score is divided into two systems. The first system starts at measure 23 and includes dynamics markings *mf*, *f*, and *mf*. It features a glissando (gliss.) and a voice part. The second system starts at measure 28 and includes markings for 'ord.' (order) and 'eólico (sh)' (eolic/sh). The notation includes various note values, rests, and articulation marks.

Figura 3.2: *Selva* [Fragmento]

Como punto de partida en *Selva*, para flauta amplificada (3.2) nos enfrentamos a la problemática de que al presentar la voz y la flauta simultáneamente, se encontraban a una distancia de dos octavas y no sucedía lo que buscábamos: era necesario un ajuste y quizás pedir cantar con falsete, si se trataba de un varón. Afortunadamente fue una mujer, con tesitura de soprano y una magnífica interpretación, le dio ese carácter a la pieza, logrando más énfasis o presencia del fenómeno, y sacando en cierto grado de su estado subliminal a los tonos de combinación. De esta manera los mecanismos para explorar el fenómeno se logran mediante la presentación simultánea de las dos alturas, que por su movimiento al acercarse o alejarse permiten percibir estas reacciones; cabe mencionar que para su realización es necesario amplificar el instrumento. Otra de las dificultades era seguir escribiendo para flauta y explorar otros caminos, como procesar la señal del micrófono de la flauta o, incluso, generar otro instrumento electrónico para interactuar con el sonido capturado de la flauta y seguir indagando en la combinación de tonos.

Una de las dificultades esenciales era que, a pesar de no encontrarse en el plan original, se propuso ampliar o extender la pieza con nuevos materiales escritos para flauta y así conformar la trilogía. Este replanteamiento me llevó a decidir cómo debería presentarse en concierto, por separado o de manera independiente, o bien como una sola pieza con tres movimientos. Ya que la idea original era explorar las reacciones neuropsicológicas de los tonos de combinación, se dispuso darle una forma a cada pieza que pudiese conectarla con las demás, por lo que se puede notar en el transcurso del material cómo algunos gestos tienen una suerte de re-exposición donde se ocupan los mismos materiales, pero son presentados cada vez de forma distinta sin afectar la propuesta general.

3. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

3.1.2. *Jungle*

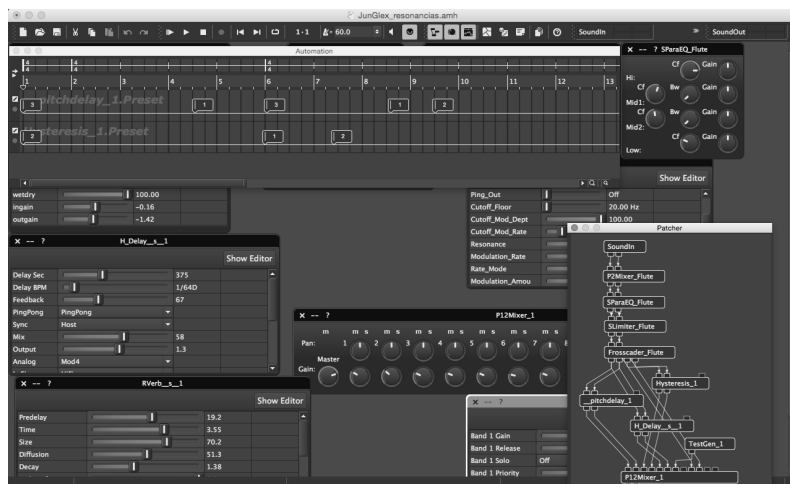


Figura 3.3: *Jungle* [Patch de Audiomulch]

Jungle trajo consigo la premisa de trabajar una pieza con procesos electrónicos prediseñados para que una máquina los ejecute, es decir, en tiempo diferido. Tuve la necesidad de generar una línea de tiempo como base para ir depositando las instrucciones y ajustes de parámetros para resaltar, modificar o filtrar alguna sección de la pieza y que este funcionamiento estuviese fijo. Para lograrlo resolví trabajar con la estación de audio digital *Audiomulch*, con la que diseñé una serie de pasos mientras la interpretación va sucediendo. En el *patch* (3.4) utilicé efectos como el ensanchamiento del espacio, lo cual pudo resolverse con efecto reverberación y efectos de retraso, entre ellos el de *pitch-delay* de la paquetería conocida como: *soundhack*, todo esto para la sección electrónica.

En el instrumento se jugó con elementos como la voz; se solicitaron ciertos gestos intercambiables técnicamente, es decir, a criterio del intérprete puede ser más como un chasquido con la boca, pronunciar algunas letras o sílabas, o inclusive cantar, lo que se escribe con notación ordinaria. Por otro lado, la flauta produce sonidos de llaves que generan entre los dos instrumentos una textura granulada para explorar la entonación de una nota que constantemente va modificando la altura a razón de cuartos de tono; enseguida adquiere un lenguaje más idiomático en el instrumento y se solicitan algunos gestos para retomar más adelante la exploración a dos voces con la intención de retomar la idea de los tonos de combinación. Canta con la voz una altura en específico que genera una interválica junto con la línea de la flauta, lo cual produce estas sensaciones.

En el compás 30 de la partitura (3.4) observamos que conseguimos el fenó-

The image shows a musical score for a piece titled 'Jungle' [Fragmento]. It is divided into two systems of music. The first system starts at measure 26 and the second at measure 29. Each system includes three staves: Flute (Fl.), Voice (Voz), and Electronic (Elect.).

System 1 (Measures 26-28):

- Flute (Fl.):** Features complex rhythmic patterns with triplets (marked '3') and quintuplets (marked '5'). The dynamics are marked *mf* (mezzo-forte).
- Voice (Voz):** Includes glissando markings (*gliss.*) and dynamic markings *mf* and *pp* (pianissimo).
- Electronic (Elect.):** Shows a series of pulses or gates, with a long horizontal line indicating a sustained effect or filter.

System 2 (Measures 29-31):

- Flute (Fl.):** Features a more melodic line with glissando markings (*gliss.*) and dynamic markings *mf* and *pp*.
- Voice (Voz):** Includes glissando markings (*gliss.*) and dynamic markings *mf* and *pp*.
- Electronic (Elect.):** Shows a series of pulses or gates, similar to the first system.

Figura 3.4: *Jungle* [Fragmento]

meno mediante la combinación de las dos emisiones; la flauta se mantiene estática mientras la voz cantada tiene un movimiento de Re a Si y nuevamente a Re mediante un *glissando* descendente y ascendente, lo cual nos permite experimentar estas reacciones.

En la parte electrónica suceden cambios que, de manera predeterminada, modifican parámetros como el *feedback* del efecto de retraso, lo que genera una retroalimentación en tiempo real con la señal entrante por la línea de micrófono para luego desaparecer; dicha modificación de parámetros está predefinida para dos de los efectos de retraso, que fueron ajustados para interactuar en puntos claves de la pieza que, a manera de secuencia, van reproduciendo los cambios específicos preparados para el proyecto. Es preciso comentar que efectos como la reverberación y demás *plugins* dentro del *patch* están dispuestos para mantener un control de amplitud en la mezcla general de la pieza. Finalmente, en el momento de los conciertos se aplicaron estrategias que consiguen una versión de la señal de audio con el sonido de la flauta limpio y, por otro lado, una versión con el sonido filtrado o procesado, por lo que mediante un dispositivo conocido como *splitter* o caja repartidora, que separa en dos o más canales idénticos la señal proveniente de una sola fuente, es posible obtener una distinción entre las dos señales y mezclarlas en tiempo real.

3.1.3. *Estepa*

The image shows two staves of musical notation. The top staff is for Flute (Fl.) and the bottom staff is for Lap. (Lap.). The Flute part starts at measure 25 and includes dynamic markings *p*, *mf*, and *p*. It features performance instructions: "sonido eolico (s)" above the first measure, "ord." above the second measure, "ord." above the third measure, and "(s)" above the fourth measure. The Lap. part starts at measure 29 and includes a dynamic marking *mf*. It features performance instructions: "ord." above the first measure, "(s)" above the second measure, "colico (s)" above the third measure, and "ord." above the fourth measure. A "Synth:Percusiva" part is shown below the Flute staff, starting at measure 29 and ending at measure 32.

Figura 3.5: *Estepa* [Fragmento]

Finalmente, en la tercera pieza titulada *Estepa* exploré desde otra perspectiva la generación de este tipo de fenómenos auditivos. También interesado en el porcentaje en que éstos pueden escucharse como resultado de la combinatoria, así como en el propio sonido de la flauta, en contraposición con el que proviene de la electrónica, decidí revisar las características espectral-morfológicas del sonido de la flauta para observar los puntos de encuentro y desencuentro que quizás podría desarrollar para resolver la pieza. Debido a que la flauta, para producir sonido, ocupa elementalmente aire, existe un lugar intermedio entre la emisión de la columna de aire y las alturas ya afinadas; es aquí donde aproveché para presentar de manera velada esta relación de dicho instrumento con el ruido, haciendo inteligibles las líneas interpretadas en flauta y, a veces, las interpretadas por la electrónica.

Para *Estepa* preparé un sintetizador generador de ruido café, este cuyo espectro decrece en potencia 6dB (decibelios)⁸ por octava, debido a que la amplitud va disminuyendo en sentido inversamente proporcional al aumento de frecuencia. Esto significa que se presentan todas las frecuencias de 20 a 20,000 Hz, pero suena más bien oscuro, sin el brillo de las frecuencias agudas similares a las que se aprecian en el ruido blanco conocido, una señal de audio que contiene todas las frecuencias audibles a una misma potencia, las cuales son susceptibles de aislarse de manera individual, como sucede con la luz blanca.

⁸Unidad relativa empleada en la acústica para expresar la relación entre dos magnitudes, la de referencia y la de estudio.

Al principio se entabló el juego del volumen ajustándolo a distinta medida; en la mezcla podían percibirse sonidos que provienen de fuentes distintas y me interesaba dejar de percibir las fronteras entre una fuente y otra. En consecuencia, quería proponer lo contrario y evidenciar los sonidos contrastantes.

Como la idea general en la electrónica era interpretar sus líneas en tiempo real, se aplicaron distintas estrategias para obtener un instrumento con esas características.

Más adelante implementé otra versión del generador de ruido café con otras funcionalidades, lo cual derivó en un sintetizador bastante versátil y muy adecuado para su combinación con flauta. Éste cuenta con un filtro pasa altas⁹ que obedece a las coordenadas del ratón, por lo que, según se vaya ajustando, en ocasiones puede obtenerse un sonido más oscuro o brillante, sin llegar al brillo que tendría el ruido blanco.

Interesado en seguir explorando los tonos de combinación en *Estepa* realicé una especie de síntesis sustractiva global, ya que comienza con ruido café para una conversión mientras avanza la pieza en frecuencias afinadas hasta llegar al final, en donde se construye una progresión de multifónicos que genera en algunos momentos tonos de combinación como sensaciones consonantes y disonantes. Así, se incorporan otros sonidos percutidos que transitan alturas entre los 4,000 y los 10,000 Hz, lo cual estimula sustancialmente a la cóclea (A.1).

En esta última sección (3.5) la apuesta por los tonos de combinación se da con claridad en la flauta; la producción de los multifónicos seleccionados desencadena la generación de este fenómeno, ya que se conforman por intervalos que oscilan al rededor de una tercera mayor en un registro alto. En este momento se generan los mecanismos para lograr el fenómeno, pues los estímulos configurados en esas alturas hacen perceptibles las sensaciones a las que me refiero.

Cabe mencionar que el papel de la computadora en la planeación general de la pieza no es protagónico en ningún sentido, más bien se funde con la flauta y, en determinado momento, toma un papel secundario donde repercuten y chocan los sonidos generados en ambos instrumentos.

El material generado por impulsos también incluye exponer la escucha a sensaciones de lateralidad mientras percibe los tonos de combinación; esto ocurre gracias a que el sintetizador que los genera reparte aleatoriamente los impulsos en el campo estéreo que busca reflejar esta propiedad espacial del fenómeno psicoacústico.

⁹Filtro que permite pasar las frecuencias altas con un corte de frecuencias graves a partir de un punto específico.

3.2. *Leîmma*



Figura 3.6: *Leîmma* [Resonancias XIII UNAM-FaM]

Con la intención de seguir debatiendo acerca del fenómeno de los tonos de combinación, la pieza está concebida para ensamble mixto, es decir, con instrumentos acústicos y electrónicos. Para lograr estas respuestas psicoacústicas decidí utilizar instrumentos acústicos no temperados que no tuviesen limitantes en trabajar con ajustes microtonales. De manera que convoqué a tres colegas que me ayudaron a lograr esta idea y presentarla en concierto.

A través de varias sesiones preparativas se compartió con los colegas intérpretes intereses y consideraciones a explorar en la acción en vivo, la cual tenía como premisa la improvisación y la interacción libre entre los instrumentos. Cabe destacar que en los preparativos se sugirió seguirse unos a otros, intentando generar alturas que chocaran con otras; esto provocaría sensaciones de rugosidad, disonancia, así como batimentos, que manifestarían por momentos la percepción del tercer sonido, sacándolo de su estado subliminal.

Para dicha presentación tuve el apoyo incondicional de los colegas María Clara Lozada, en la flauta; Marcos Miranda, en los saxofones y clarinetes, y Rodrigo Gallegos Pinto, en la percusión y el procesamiento digital de ésta en tiempo real. A mi cargo estaba la sección electrónica en tiempo real, la cual realicé en SuperCollider y con el sintetizador analógico Microbrute de Arturia.

Con María Clara, al trabajar previamente las ideas para la trilogía de *Retratos al exterior*, logramos intercambiar un poco las premisas generales de la pieza, sin representar siquiera un boceto de la misma. Con la intención de darle fluidez,

versatilidad y libertad al intérprete, se le permitió participar o no conforme a su criterio y entablar un diálogo con todos los involucrados.

Con Marcos Miranda he tenido la fortuna de colaborar en varios proyectos de improvisación, sobre todo, por lo que antes le solicité ayuda para experimentar estas sensaciones colectivamente en algunos ensayos, y plantear a su vez la presentación en el marco de Resonancias XIII.

Rodrigo Gallegos Pinto es miembro del colectivo Escucha Subversiva, del cual también formo parte. Rodrigo, de profesión compositor electroacústico, baterista y percusionista, me brindó apoyo con su instrumento principal y sus habilidades en el uso de tecnología; le solicité que interpretara algunos instrumentos de percusión amplificados y procesados de manera relativamente libre con sus herramientas, lo que le permitiría también su libre participación, intuición y escucha atenta. Por esto le solicité procesar algunos sonidos de platillos frotados con arco para obtener un contenido armónico que privilegiara el registro agudo.

En mi caso tenía preparada una serie de *patches* para su difusión en el espacio; en principio los *patches* continuaban con la línea de experimentación del fenómeno a través de ejercicios de síntesis, por lo que reciclé algunas líneas de código para utilizarlas en una situación en vivo. Debido a esto se conjuntó una serie de sintetizadores que atienden otras técnicas como el uso de muestras de audio que fueron capturadas previamente (A.1). Por último, se tomaron acciones dirigidas a posibilitar la improvisación con los materiales preparados y algunos otros que fueron construidos mientras avanzaba el tiempo durante el concierto. La clase Proxy de SuperCollider me facilitó esta tarea, permitiendo así la manipulación en tiempo real de las características espectromorfológicas de los sintetizadores, y dando un poco de espacio y aire para jugar con los elementos sonoros (A.1). A su vez, mediante un sintetizador analógico fueron interpretados otros sonidos que contrastaban y se fundían con todo el material. Los lugares en común estaban claros relativamente, entonces dimos oportunidad a la improvisación.

El fenómeno se logra a través del choque de las frecuencias y la intermodulación, que se genera por la interacción de los sonidos acústicos y electrónicos presentados.

Podemos notar en el sintetizador OtoSynth (A.1) que se utiliza la base de la síntesis aditiva directa y se dispone como una función que, al ir modificando cambios en sus parámetros, nos conduce a experimentar de forma crítica sensaciones relativas a los tonos de combinación. Debido a la misma disposición permite al usuario intercambiar los generadores de señal, obteniendo resultados diversos y alejados de lo que buscamos; sin embargo, manteniendo este diseño experimentaríamos los fenómenos desde distintas estrategias, las cuales necesariamente tienen que someterse a la indagación, hasta lograr un resultado convincente y estéticamente satisfactorio.

3. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

3.3. *Locus*

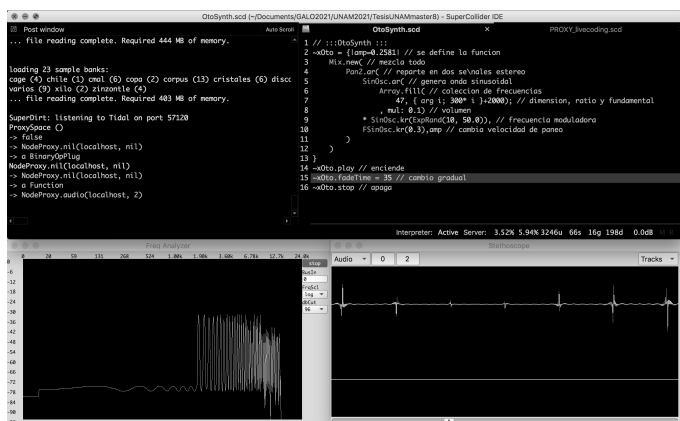


Figura 3.7: *Locus* [Patch en SuperCollider]

En contraposición con los trabajos anteriores, en esta pieza la búsqueda estaba planteada en experimentar los tonos de combinación con instrumentos que generaran ondas sinusoidales o tonos puros. Con el objetivo de sentir, escuchar, experimentar este tipo de sensaciones y reflexionar ante esta situación corporal, reactiva, reflexiva, mediante materiales contruidos con diversos sintetizadores y generadores de patrones rítmico-melódicos, que básicamente usan este tipo de oscilador sinusoidal.

Exploré también, como en *Leîmma*, estrategias que modificaran las características espectromorfológicas del sonido generado con estos sintetizadores. Sin embargo, en esta pieza se juega con el factor del tiempo, en donde suceden cambios y una transformación casi imperceptible. Por lo que, de pronto, el oído se encuentra estimulado ampliamente y en ocasiones pierden presencia las sensaciones.

Esto es bastante notorio por la presentación de los estímulos y su desenvolvimiento a través del tiempo. Es posible notar cómo es que dentro de ellos prevalecen las frecuencias altas, algunos utilizan la síntesis aditiva directa y otros tienen una suerte de generador de patrones rítmico-melódicos repartidos en el campo estéreo, que transitan de igual forma por las frecuencias agudas. Por lo que los mecanismos para generar las condiciones para percibir los tonos de combinación, se conforman a través de los choques y superposiciones que generan intermodulación de las frecuencias presentadas y hacen que la sensación se manifieste percibiendo también lateralidad y el desplazamiento de las fuentes sonoras.

En *Locus* la idea general es encontrar el “lugar”, o identificar en dónde ocurren las sensaciones de los tonos de combinación, principalmente.

De esta forma, todos los materiales presentados cumplen con los objetivos de emplazar el fenómeno psicoacústico de los tonos de combinación y explorar tanto en instrumentos acústicos como electrónicos la producción de este resultado; naturalmente, a través de la experimentación y el diseño de los estímulos así como el trabajo de composición, no sólo se logró estimular al oído con los tonos de combinación, sino que una serie de fenómenos relacionados con la combinación de alturas y las sensaciones inherentes a dicha actividad como son la consonancia, disonancia y rugosidad se interrelacionan dentro de estas propuestas musicales.

En el siguiente capítulo me permitiré compartir el análisis de algunos momentos en donde, desde mi propia escucha, se presentan los tonos de combinación; esto con los objetivos de determinar si es que los tonos de combinación se perciben de igual forma, independientemente si la producción del estímulo es generado acústicamente o electrónicamente; observar las propiedades espectromorfológicas de los sonidos expuestos, así como observar que efectivamente ese tercer sonido que percibimos no se encuentra dentro de los estímulos acústicos en los materiales presentados.

Análisis de resultados

A partir de lo que vimos en el capítulo anterior, en este capítulo analizaremos los resultados obtenidos por distintos métodos. Con el fin de comprender los resultados se realizó un análisis espectral tanto de las piezas en su totalidad, como de algunas secciones o puntos clave en cada una de ellas, donde se presentan los tonos de combinación y algunos elementos importantes que reflejan la constitución de los fragmentos que nos interesan en este trabajo. En principio se utilizó el software libre *Sonic Visualiser*,¹ con el cual se extrajeron las frecuencias y se consiguieron algunos espectrogramas de los fragmentos analizados. En un segundo momento, con la finalidad de explorar otros matices, se llevó a cabo un análisis espectral en la escala psicoacústica de barks llamado cocleograma con el software libre *Praat*.²

Cabe destacar que estas representaciones gráficas del sonido, a pesar de que arrojan un buen indicio de lo que sucede con la evolución de las frecuencias y las intensidades correspondientes a través del tiempo, no reflejarán explícitamente los tonos de combinación, ni la mecánica interna de la cóclea. En todo caso, a lo que podemos acercarnos de manera tangible es a las frecuencias que se encuentran dentro del estímulo y, de este modo, predecir que, si tienen una amplitud considerable, propician las condiciones para que suceda este fenómeno psicoacústico.

¹<http://www.sonicvisualiser.org>

²<http://www.praat.org>

4.1. *Selva*

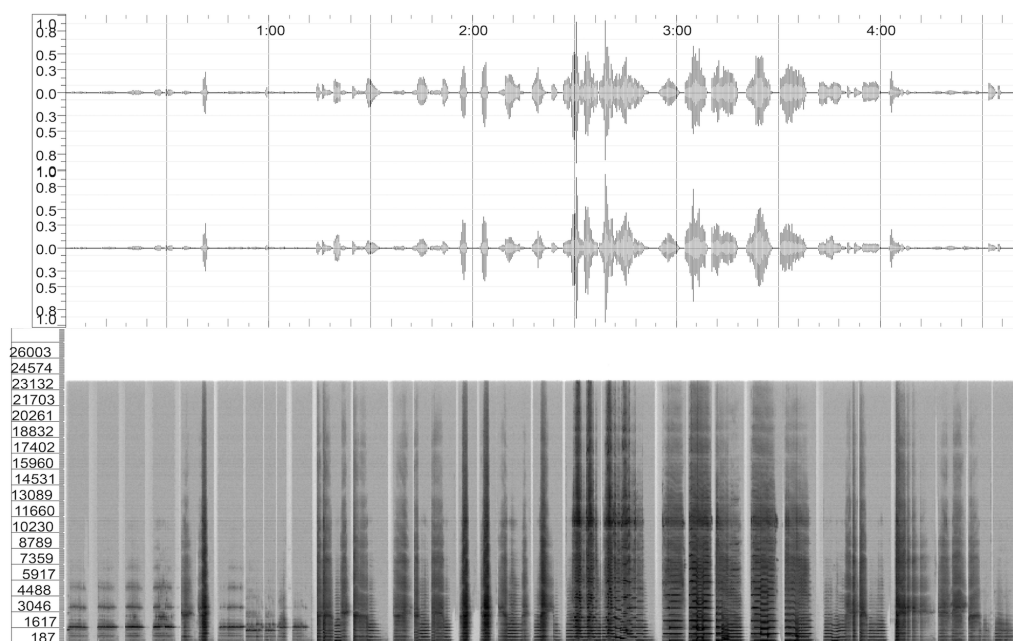


Figura 4.1: Forma de onda y espectrograma de *Selva* [Completa]

En *Selva de Retratos al exterior*, figura (4.1), seleccioné un fragmento en específico que considero punto clave en la propuesta musical para esta investigación. Dicho fragmento³ se encuentra entre el minuto 3:02 y el minuto 3:10, en el compás 24 de la partitura (A.1). Fueron seleccionados cinco puntos en los cuales se puede observar cómo se incorporan elementos que van transformando la propuesta musical en general; así mismo, observamos la cantidad de armónicos que surgen de manera natural en la flauta, además de los que surgen en combinación con la voz. A su vez, prestamos atención al momento en que sucede el barrido de frecuencias que transita una octava, cómo interactúa con una frecuencia que se encuentra fija. Esto genera sensaciones e intervalos que se modifican con velocidad e irrumpen en la percepción musical regular, presentándose como una sensación particular dentro del oído y con una clara relación a ese barrido descendente y ascendente generado por la voz.

³<https://www.galgonzalez.com/SelvaFragmento1.html>

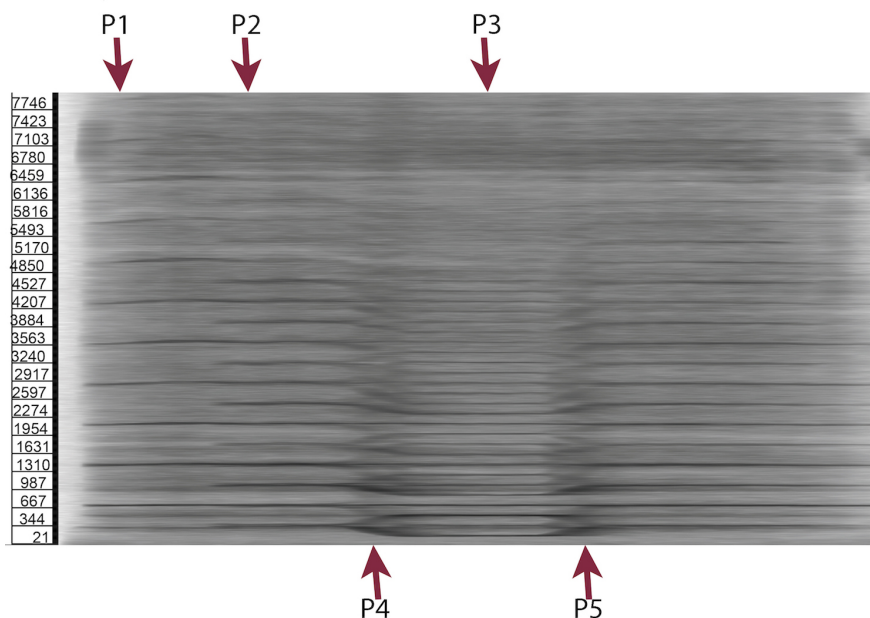


Figura 4.2: Espectrograma de *Selva* [Fragmento 3:02 - 3:10]

En el detalle del espectrograma (4.2) se observan claramente no sólo las frecuencias fundamentales, sino la serie de armónicos a partir de un solo instrumento y cuando son resultado de la combinación instrumental, lo cual refleja su complejidad. Es preciso considerar que los armónicos registrados en estas gráficas no los escuchamos de manera aislada; por lo tanto, no se les puede asignar una altura particular, todos estos componentes de frecuencia corresponden a las fundamentales generadas por la flauta y más adelante por la voz. Sin embargo, dichos armónicos tienen bastante relevancia desde el punto de vista de cómo se conforma el timbre de los instrumentos, facilitando la comprensión de un sonido complejo a diferencia de uno simple, como un tono puro, lo que podremos constatar más adelante. De igual forma, conseguimos una gráfica de un cocleograma que nos brinda información útil para este estudio.

En el análisis respecto al primer punto (P1), destacó la fundamental a cargo de la flauta. De igual manera, hubo una serie de seis armónicos, sobre todo, que fueron trazados como líneas negras en el ejemplo; tratándose de un instrumento no temperado era lógico que pudiera desafinar, por lo tanto no se ajustaba perfectamente a la frecuencia esperada. Sin embargo, advertimos que estas frecuencias representan un sonido complejo, ya que contienen una cantidad considerable de armónicos.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

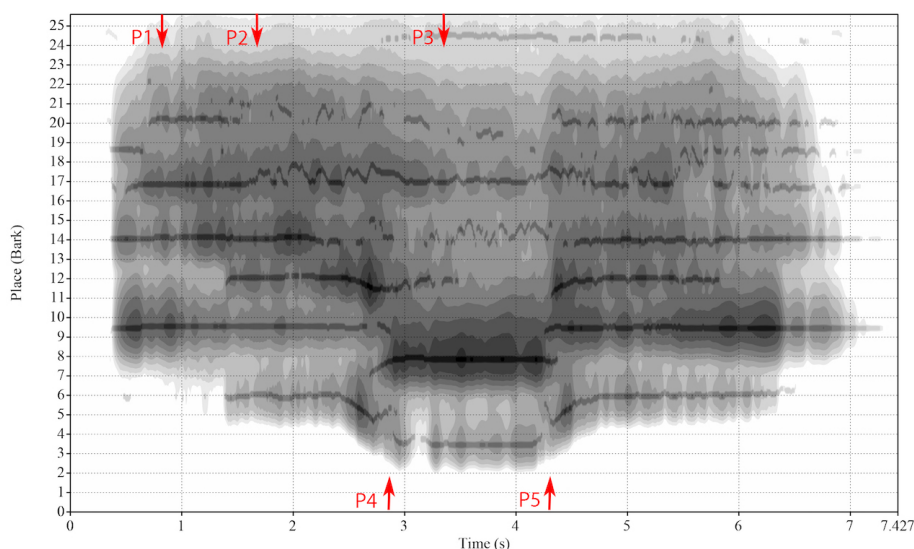


Figura 4.3: Cocleograma de *Selva* [Fragmento 3:02 - 3:10]

Otro detalle que nos permite observar esta gráfica es el ruido que genera la columna de aire cuando inicia el sonido; ésta viaja desde los labios del intérprete hasta la boquilla de la flauta y las configuraciones propias que se desarrollan dentro del instrumento que, al ser ejecutado, deja visibilizar a través de este análisis, la enorme cantidad de frecuencias distribuidas en un rango bastante amplio, lo cual comprende casi todo el espectro audible. Esto se encuentra ilustrado de color gris en la gráfica, lo cual en la lógica de estos diagramas corresponde a un sonido con mucho menos amplitud que las notas afinadas de la flauta, trazadas en color negro.

El siguiente punto (P2) contiene las fundamentales y los armónicos correspondientes a los sonidos generados por la flauta y la voz. Como se puede observar, en este momento se incorpora la voz con una octava de la nota Re, lo cual resulta en una combinación consonante y placentera al oído.

Cabe destacar que se percibe un sonido similar a un zumbido, propio de la técnica empleada para producir las dos emisiones, tanto de la voz y la flauta como en combinación.

En el tercer punto (P3), cuando la flauta y la voz se separan por el movimiento de ésta, generan un intervalo de dos octavas entre las frecuencias fundamentales. Como podemos notar, las frecuencias obtenidas por el análisis espectral coinciden, casi, con las afinaciones temperadas correspondientes a las notas solicitadas, lo cual genera un intervalo de octava entre la voz y la flauta. Podemos concluir que los puntos P1, P2 y P3 son momentos consonantes debido a que los intervalos por los que transita esta sección son octavas. Cabe destacar que, los puntos P4 y P5 de las figuras (4.2) y (4.3), también indican los momentos más disonantes de la

pieza; a pesar de ser ínfimos y manifestarse apenas en unas milésimas de segundo, dan constancia de la sensación auditiva a la que me refiero en este trabajo.

El cocleograma de este fragmento representado en la figura (4.3) es bastante similar al espectrograma, ya que describe los materiales en relación con las alturas y sus amplitudes respecto al paso del tiempo. Sin embargo, en este tipo de diagramas el eje de las frecuencias está mapeado a bandas críticas, lo cual permite observar cómo ese barrido de frecuencias recorre varias de estas bandas, lo cual podríamos dilucidar como el movimiento de la sensación auditiva a través de varios puntos posicionados a lo largo del oído.

De este modo, y desde una apreciación personal, puedo considerar que el fenómeno psicoacústico de los tonos de combinación se hace presente en esta pieza debido a que, cuando se transita por el fragmento seleccionado, se percibe una clara estimulación en el oído interno.

4.2. *Jungle*

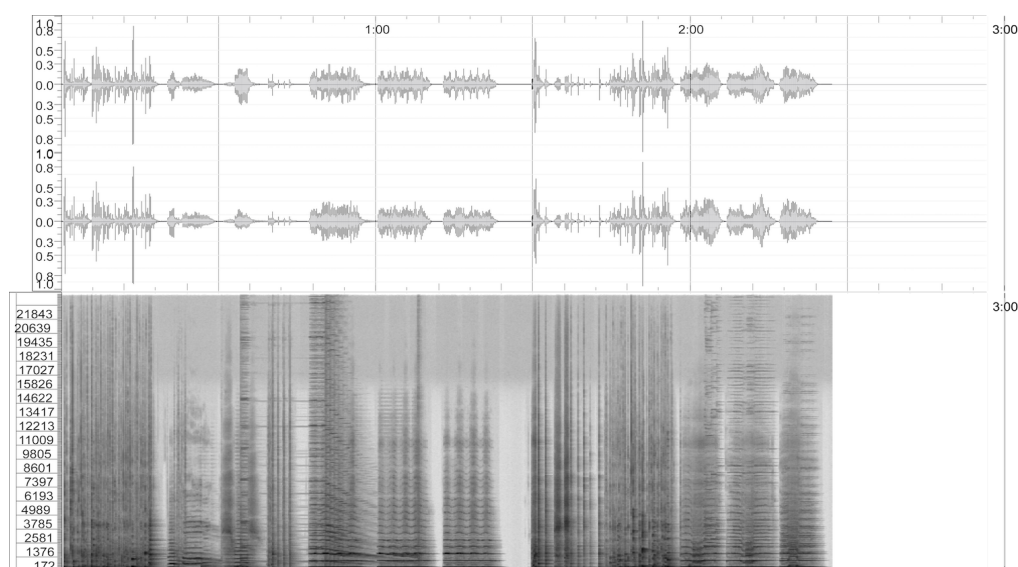


Figura 4.4: Forma de onda y espectrograma de *Jungle* [Completa]

Siguiendo con *Jungle*, encontramos una propuesta diferente, pues se trata de una pieza con procesos electrónicos, por lo que además de dicha mezcla podemos experimentar las sensaciones de tonos de combinación, aspereza y rugosidad, de tal modo que logramos predecir un comportamiento similar a la pieza que examinamos antes. En *Jungle* solicitamos el mismo gesto que analizamos en *Selva*, lo cual podemos localizar a partir del compás 28 hasta el final de la pieza (A.2). Esto lo constatamos en el fragmento⁴ seleccionado del minuto 2:06 al 2:26. Podemos notar en la figura (4.5) un movimiento similar al de la pieza anterior y otra versión con movimiento contrario en la línea de la voz.

Jungle, en contraste con *Selva*, posee una gran carga de características espectromorfológicas diferentes, debido a que la pieza se desarrolla desde su inicio con técnicas extendidas y la premisa de contar con una serie de efectos para modificar de forma premeditada el sonido de la flauta; de manera que, tanto el efecto de reverberación como el de retraso, construyen un segundo plano de lo que generan la flauta y la voz en un primer plano. Es preciso indicar que el efecto de retraso está diseñado para modificar la altura de la señal, por ello puede escucharse y observarse una suerte de movimiento descendente representando la señal afectada.

⁴<https://www.galogonzalez.com/JungleFragmento1.html>

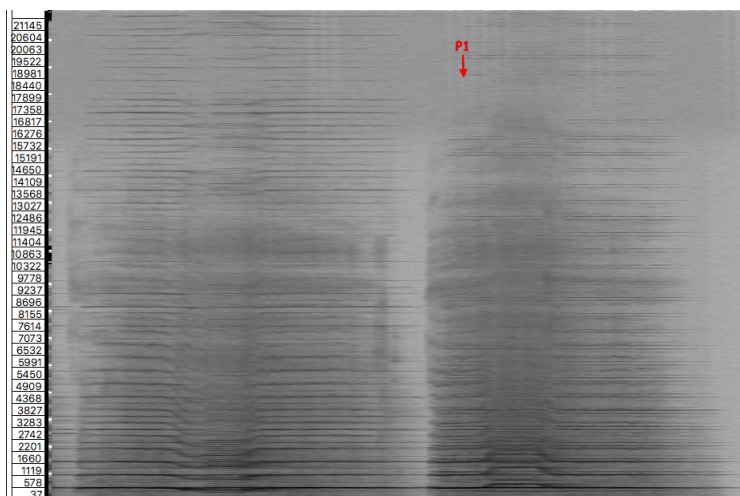


Figura 4.5: Espectrograma de *Jungle* [Fragmento 1]

Esto lo observamos en el segundo fragmento⁵ seleccionado entre el minuto 0:46 y el 1:11. Ya que el material transita por sonidos de aire, afinados y cantados, en la figura (4.6) encontramos una gran cantidad de espectros que se ven afectados y notamos con claridad; en cierto porcentaje, dichas repercusiones son debidas al procesamiento electrónico digital de la señal de audio.

Es así que, sin restarle importancia al material, desde mi propia escucha considero que sucede lo mismo que en la pieza previamente analizada: los tonos de combinación y los momentos más disonantes se encuentran justo donde comienza o termina la transformación originada por las voces, que combinan las alturas y actúan como un movimiento que separa y conjunta las dos emisiones, lo cual se observa en el punto (P1) de la gráfica (4.5). El tratamiento que modula y retrasa la señal de audio pone a dialogar dos frecuencias que generan las condiciones para percibir los tonos de combinación, así como las sensaciones de rugosidad o aspereza en un espacio envolvente generado digitalmente, en donde el sonido adquiere otros atributos como el color y una ligera permanencia producida por la reflexión del mismo en las paredes de un recinto, en este caso, edificado virtualmente.

⁵<https://www.galogonzalez.com/JungleFragmento2.html>

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

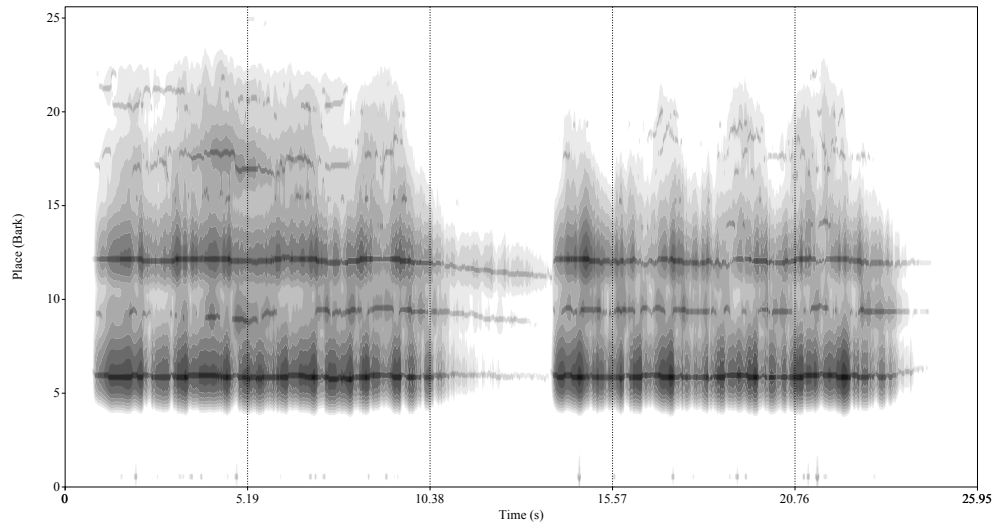


Figura 4.6: Cocleograma de *Jungle* [Fragmento 2]

4.3. *Estepa*

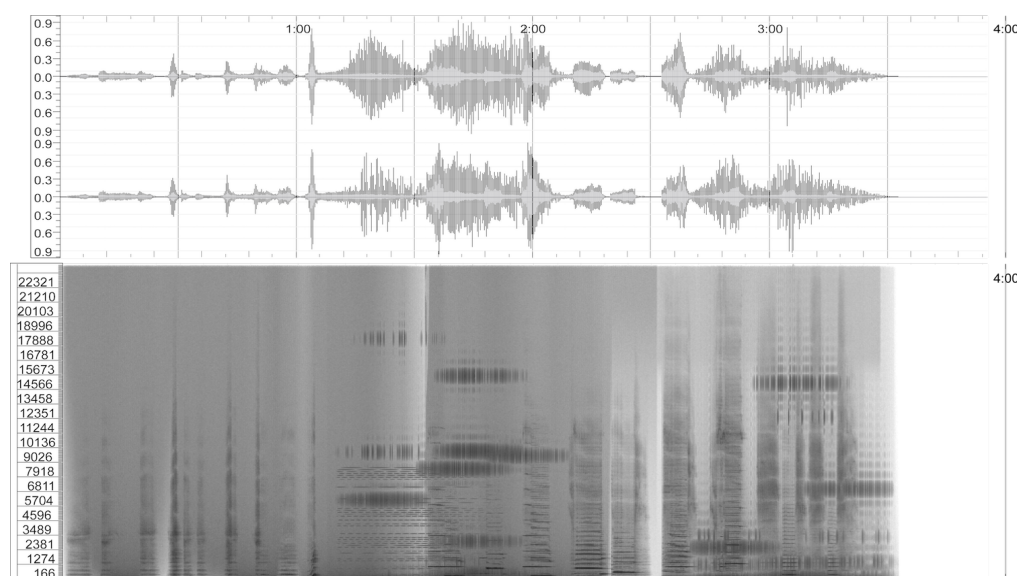


Figura 4.7: Forma de onda y espectrograma de *Estepa* [Completa]

Finalmente, para cerrar el ciclo de *Retratos al exterior*, *Estepa* juega con distintos factores que tienen una suerte de exploración espectromorfológica más declarada, así como una síntesis del trabajo realizado con las otras piezas. Podemos notar en la figura (4.7) cómo *Estepa*, en gran parte de su extensión, presenta ruido que interactúa y enmascara los sonidos producidos por la flauta y los sintetizadores que conforman la propuesta. A su vez, el ruido integra un amplio rango de frecuencias y, conforme la pieza se desarrolla, explora distintos rangos hasta desaparecer. Sin desestimar la riqueza de la pieza en general, en cuanto a sus propiedades espectrales y de forma, que se observan en macro y micro escala, decidimos seleccionar unos fragmentos que consideramos importantes para esta investigación. Dichos fragmentos se analizaron de manera similar a los anteriores.

El primer fragmento⁶ seleccionado es del minuto 1:32 al 1:44, representado en las figuras (4.8) y (4.9), así como en el compás 17 de la partitura (A.5). Contiene las frecuencias fundamentales de la flauta que interactúan con las frecuencias emitidas electrónicamente, estas últimas están representadas por impulsos y por sonidos tenidos, en ambos casos generados por sintetizadores independientes. Los sonidos tenidos comprenden un contenido armónico bastante complejo, sin embargo, se presentan con una amplitud atenuada que sirve de segundo plano en la

⁶<https://www.galogonzalez.com/EstepaFragmento1.html>

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

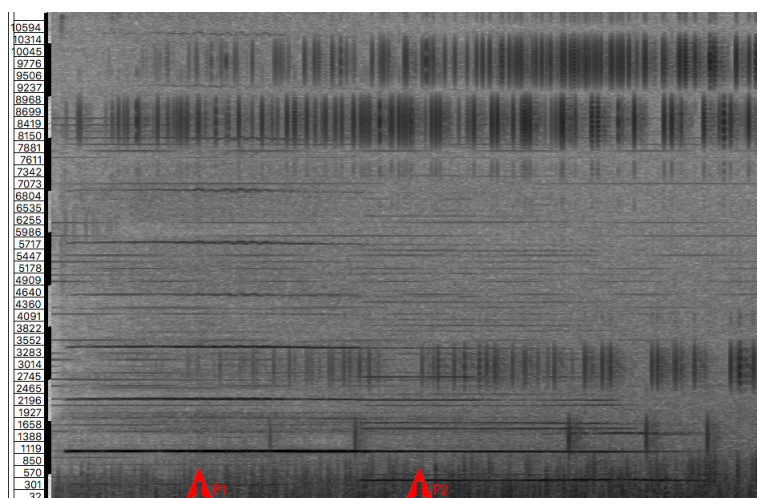


Figura 4.8: Espectrograma de *Estepa* [Fragmento 1]

construcción de la pieza en ese momento; por el contrario, los impulsos lo hacen con una amplitud suficiente para desencadenar los tonos de combinación. Además se trata de diversas alturas cercanas y por encima de las que genera la flauta, lo cual supone un lapso complejo y de mucha interacción. Estas condiciones reflejan cómo los tonos de combinación y la estimulación de la cóclea son un resultado harto perceptible.

A través del análisis de frecuencias mapeado a bandas críticas en la figura (4.9), en el punto (P2) tenemos las frecuencias generadas por la flauta y las generadas electrónicamente, las cuales en ese momento (un sintetizador con sonido tenido y otro que genera impulsos en distintos registros) ponen a dialogar tanto los tonos de combinación, como la sensación disonancia. El primer sintetizador y la flauta se encuentran a una distancia de octava en el punto (P1), pero en el punto (P2) el intervalo generado por la flauta con multifónicos es una séptima mayor en relación con el sintetizador que continúa generando la misma frecuencia con la que inicia el fragmento, lo cual supone intermodulación entre las frecuencias y una nítida sensación de disonancia. Por otro lado, los impulsos activan drásticamente la cóclea; son varias bandas críticas o posiciones a lo largo del oído que son estimuladas, dialogan a su vez con los otros sonidos, de modo que las condiciones para percibir los tonos de combinación, consonancia y disonancia están claramente representadas.

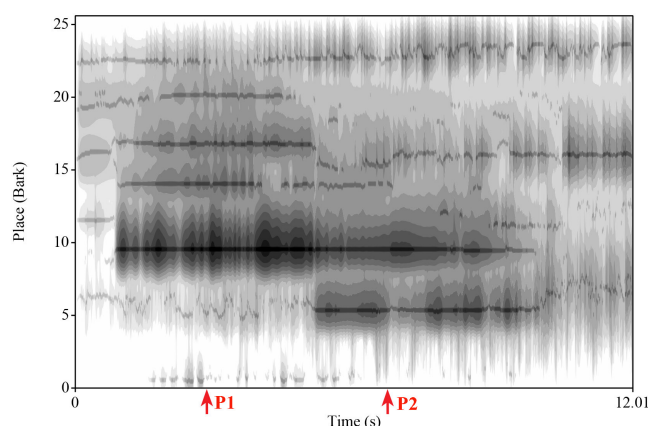


Figura 4.9: Cocleograma de *Estepa* [Fragmento 1]

Fue seleccionado también un segundo fragmento⁷, en el compás 26 de la partitura (A.5), entre los minutos 2:08 y 2:17. Tras un análisis exhaustivo observamos que en el diagrama (4.10) existen tres frecuencias prominentes que conforman un intervalo consonante, pero también son descritas otras en amplitudes menores que no son armónicas de las frecuencias prominentes; estas, a pesar de presentarse en menor medida, se intermodulan e interactúan, generando más bien una clara sensación de disonancia. Desde mi apreciación los tonos de combinación también son perceptibles aquí, pero menos notorios, sin embargo esta propuesta ocurre en toda la sección final de la pieza de modo más sutil. Por lo tanto, los multifónicos entregan a la escucha las condiciones necesarias para que los tonos de combinación se manifiesten.

Hay que considerar que el sonido de la flauta se logra mediante el control en la fluctuación de la columna de aire dirigida al instrumento, lo cual repercute tanto en la altura como en el color que se obtiene. Por esto no funciona como lo haría un instrumento electrónico capaz de generar un contenido simple y de una duración ilimitada.

La producción de multifónicos también es un trabajo meticuloso que se genera mediante ajustes de precisión bastante delicados, tanto de la digitación como de la embocadura. De modo que, a pesar de precisar las alturas y la combinación de éstas, que en teoría predicen la percepción de los tonos de combinación, y de que la técnica empleada para producir los multifónicos implica una suerte de filtro que sustrae parte del contenido que genera normalmente la flauta, no es posible percibir este fenómeno en su nitidez, como lo produciría un instrumento electrónico, esto debido a la complejidad de su espectro, lo cual permite la percepción casi subliminal de los tonos de combinación.

⁷<https://www.galogonzalez.com/EstepaFragmento2.html>

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

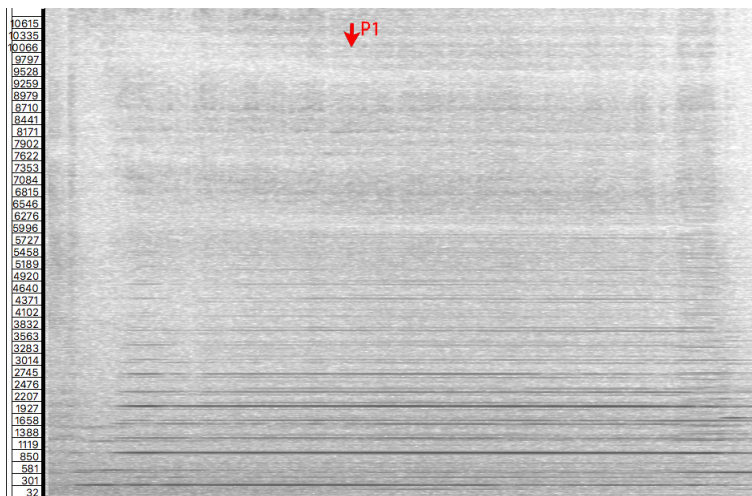


Figura 4.10: Espectrograma de *Estepa* [Fragmento 2]

A pesar de las condiciones planteadas en *Estepa* no sólo es posible percibir la localización y el desplazamiento de las fuentes sonoras, sino también el tercer tono dentro del oído, por lo que observamos los atributos espaciales de la obra. Por lo tanto, cuando la construcción musical atiende fuentes sonoras acústicas y electrónicas, pueden establecerse las condiciones para que los tonos de combinación se perciban explícitamente.

4.4. *Leïmma*

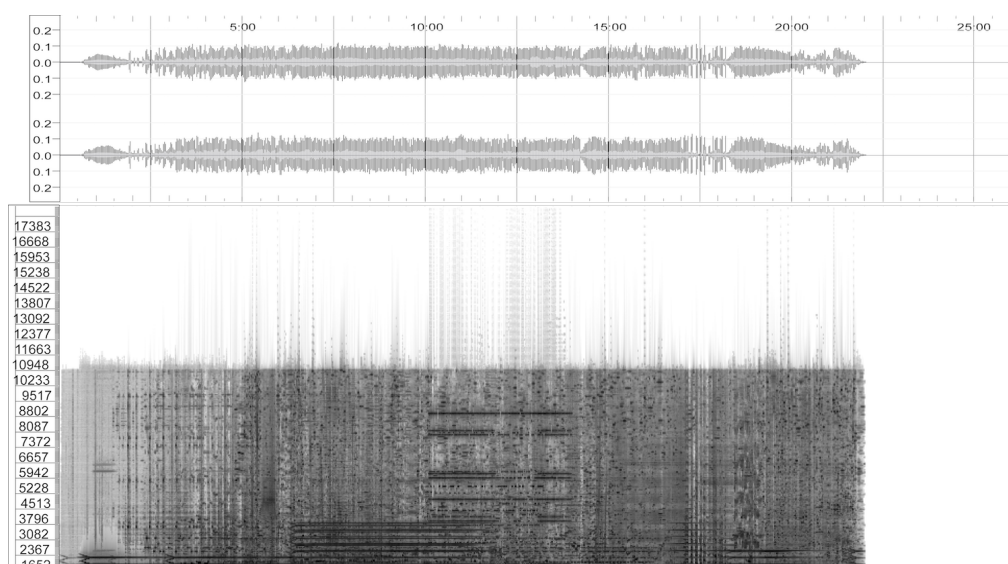


Figura 4.11: Forma de onda y espectrograma de *Leïmma* [Completo]

Debido a que la improvisación tuvo una duración aproximada de veinte minutos, y que en múltiples ocasiones se perciben los tonos de combinación de modo similar que en las piezas anteriores, en *Leïmma* seleccioné un fragmento crucial que muestra claramente los resultados esperados por la combinación de frecuencias.

Podemos constatar en el fragmento⁸ seleccionado entre los minutos 13:17 y 13:27 las frecuencias que representan, en conjunto, bastante disonancia. El clarinete y la flauta en ese momento se encuentran dialogando instrumentalmente, buscan alturas que condicionan la manifestación del fenómeno de los tonos de combinación mediante frecuencias cercanas que intermodulan entre sí. Es importante comentar que, en este fragmento, pueden notarse múltiples frecuencias tenidas generadas electrónicamente, así como una gran cantidad de frecuencias que, a manera de impulsos, se van incorporando mientras se desarrolla la pieza; éstas ocupan un rango entre los 2,000 y los 8,000 Hz, lo que provoca una serie de choques y aproximaciones entre las frecuencias que preparan las condiciones para que los tonos de combinación se manifiesten. Es posible notar cómo se consiguen estas sensaciones con mayor notoriedad si se utilizan instrumentos electrónicos como parte de las fuentes sonoras que construyen la pieza y las frecuencias que

⁸<https://www.galogonzalez.com/LeimmaFragmento1.html>

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

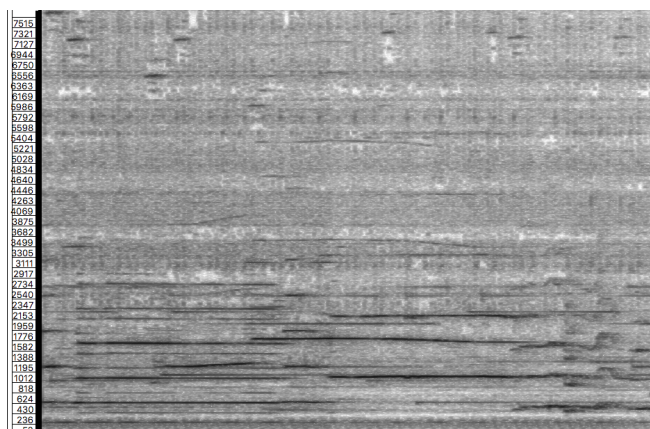


Figura 4.12: Espectrograma de *Leïmma* [Fragmento]

sirven de estímulo para este fenómeno en particular. Ya que los instrumentos electrónicos son capaces de producir sonidos puros o sin armónicos, cuando son usados solos o en combinación es posible experimentar las sensaciones de los tonos de combinación de manera prístina.

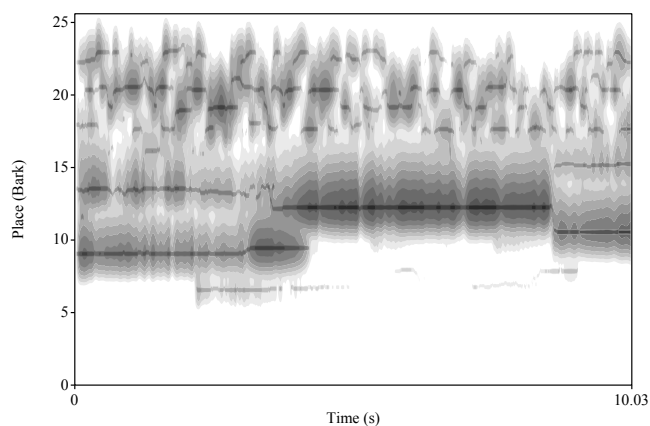


Figura 4.13: Cocleograma de *Leïmma* [Fragmento]

Al realizar un análisis general de la pieza salta a la vista cómo el ensamble establece las condiciones para escuchar los tonos de combinación, así como las sensaciones de consonancia y disonancia que tratamos en este documento a través de la experimentación y la composición en tiempo real; todas las decisiones en este constructo fueron determinadas individualmente por los miembros del ensamble con la única premisa de obtener esos puntos de encuentro en el desarrollo de esta propuesta.

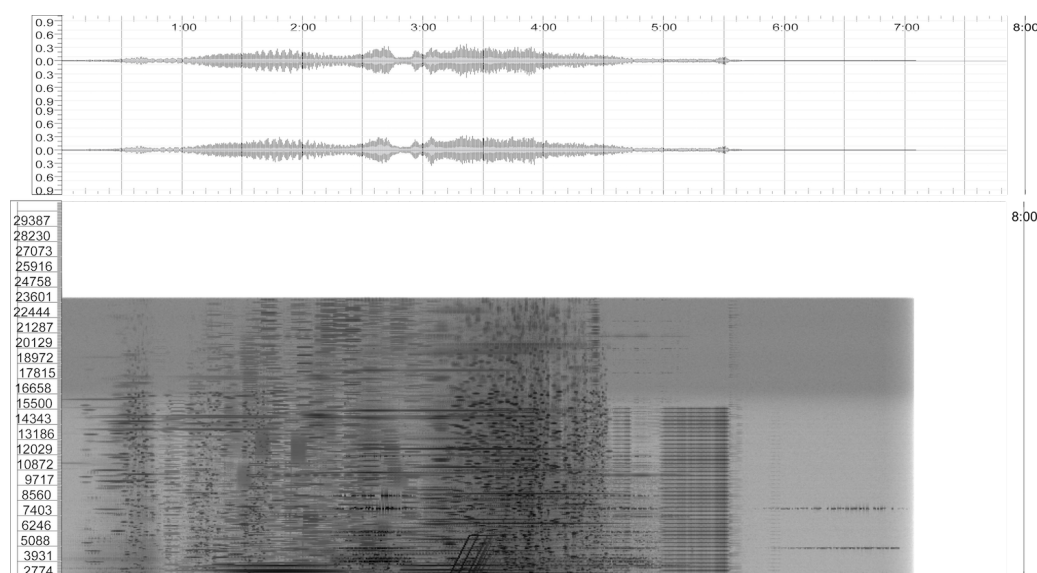
4.5. *Locus*

Figura 4.14: Forma de onda y espectrograma de *Locus* [Completo]

En *Locus* hay varios momentos que facilitan la percepción de los tonos de combinación. Ya que la propuesta fue programada electrónicamente, algunos sonidos representan ondas sinusoidales que entran junto con otras en algún punto de intermodulación, causando estos resultados. Consideré pertinente seleccionar un solo fragmento. Me interesó el fragmento⁹ comprendido entre el minuto 1:30 y el 1:40, ya que se trata de un instante altamente disonante. Es evidente que los contenidos generados electrónicamente permiten la percepción de los tonos de combinación en mayor grado, lo cual puede constatarse tomando en cuenta que, de origen, muchas fuentes sonoras fueron representadas por sintetizadores que generan tonos puros, lo cual indica principalmente que esos sonidos no tienen armónicos.

Esto supone una respuesta coclear con una definición distinta a lo que representa escuchar sonidos que contienen múltiples armónicos, dotando, en este caso, las condiciones necesarias para la escucha de los tonos de combinación; los momentos de mayor densidad significan la activación de más sintetizadores que, a pesar de ser independientes, generan las frecuencias que intermodulan, permitiendo la percepción del fenómeno de los tonos de combinación, así como de masas de sonido con diversas densidades y grados de rugosidad y aspereza.

⁹<https://www.galogonzalez.com/LocusFragmento.html>

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

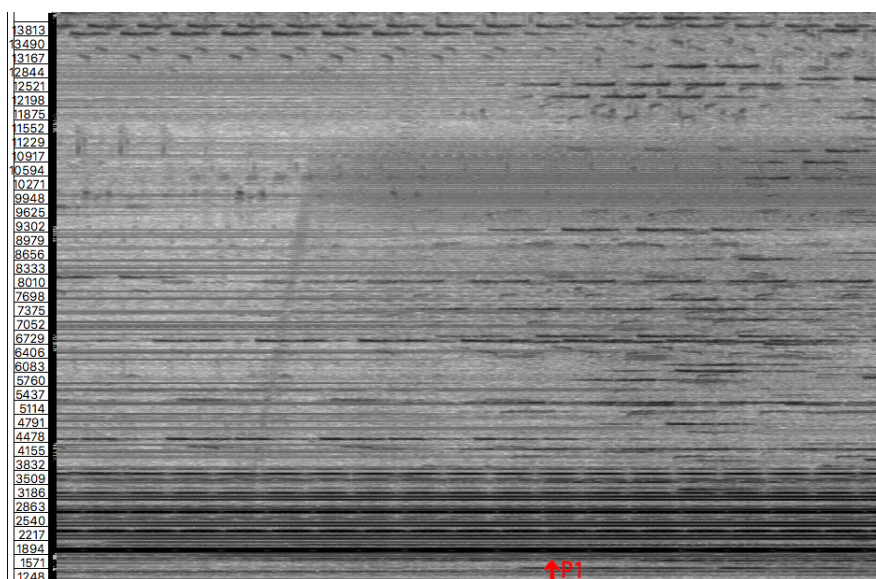


Figura 4.15: Espectrograma de *Locus* [Fragmento]

Esto se puede ver en las figuras (4.15) y (4.16), en donde notamos cómo las frecuencias presentadas comprenden una gran cantidad de elementos que, sin duda, hacen de este momento, bastante complejo, uno de los instantes más disonantes de la pieza.

En la figura (4.16) observamos también cómo varias bandas críticas cercanas entre sí se involucran al percibir esta selección musical, lo que comprende de nuevo la complejidad de los procesos de percepción que se suscitan entonces. En esta pieza advertimos cómo los ajustes en cuanto a la espacialidad derivan en la percepción del fenómeno de los tonos de combinación con cierto control; esto permite el estímulo de ambos oídos en instantes distintos y revela una sensación espacial o tridimensional.

Una de las peculiaridades de los tonos de combinación es su aparente sensación respecto al lugar donde se desarrollan, respondiendo al mismo tiempo al emplazamiento del estímulo. Es decir, en principio es posible percibir el fenómeno dentro de los dos oídos, sin embargo, también es posible que sólo un oído esté involucrado en la percepción. A pesar de que al diseñar los estímulos en las propuestas musicales esto no buscaba explorarse a profundidad, las condiciones en los contenidos presentados permiten percibir estas diferencias. Por tanto, es común experimentar sensaciones de lateralidad o pronunciamiento de la sensación en un mayor porcentaje en uno de los oídos.

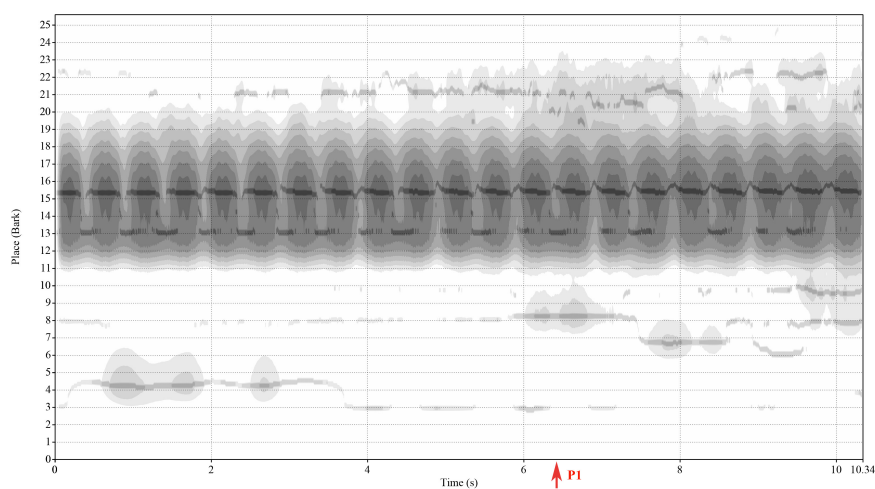


Figura 4.16: Cocleograma de *Locus* [Fragmento]

Al experimentar con el estímulo de manera aislada y desde una apreciación personal, me fue posible percibir que esta sensación de lateralidad guarda un comportamiento no lineal, por lo que al girar lentamente la cabeza en el eje horizontal de un lado al otro mientras dura la exposición al estímulo acústico, puedo notar un momento en que radicalmente se percibe la respuesta en un sólo oído, mientras que en el otro ha desaparecido; este comportamiento ocurre cuando el giro es de 30 grados aproximadamente respecto a las fuentes difusoras de sonido. Al reincorporar el movimiento hacia el otro lado, en un punto más intermedio percibo de nuevo la mezcla equilibrada en los dos oídos. Esta respuesta sugiere indicios de otra no linealidad en la escucha de los tonos de combinación.

En términos de la cuestión: ¿de qué modo llevo a la práctica musical un fenómeno psicoacústico de esas características? Se considera que la diversidad de estrategias compositivas, así como la selección de dotaciones instrumentales, debe estar ponderada por la relación de las características espectromorfológicas del sonido que producen, lo que permitiría calcular o anticipar los resultados contemplando el instrumento a utilizar, con atención a las particularidades relacionadas con los aspectos físicos necesarios para la producción de sonido en un instrumento acústico. De modo que, si se trata de un instrumento electrónico, entendemos que sus mecanismos de síntesis permiten el diseño para producir sonidos con espectros menos complejos de los que genera regularmente un instrumento acústico o tradicional.

Por lo tanto, el nivel de nitidez del fenómeno será mayor. Sin embargo, las indicaciones relativas al rango de alturas donde el fenómeno es más perceptible son considerables. Con estas apreciaciones básicas comprendemos que, si utilizamos exclusivamente instrumentos acústicos, necesitaremos una suerte de síntesis

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

substractiva que retire una parte del espectro y sólo permita la escucha de alguna de sus regiones, de modo que si el instrumento tiene una posibilidad o varias con esa idea primigenia produciría sonidos más “puros”, lo cual podría conducirnos a combinar algunos de ellos y observar más al fondo de nuestra percepción auditiva los resultados de esta combinación.

En *Selva*, donde la generación de sonido es completamente acústica, podemos concluir que el resultado se circunscribe a la práctica de los tonos de combinación; sin embargo, los espectros complejos tanto de la voz como de la flauta no reflejan la nitidez del tercer tono esperado; pero nos permiten percibir con claridad la sensación disonante, inestable, de contenido armónico complejo que nos hace relacionar evidentemente el movimiento de las alturas con ese choque intencionado. De igual manera puede detectarse una reacción en la cóclea, específicamente en los fragmentos y puntos de la pieza analizados con anterioridad que, desde mi propia experiencia, descubren un tercer sonido que inunda el oído interno. Por tanto, concluyo que se trata del fenómeno psicoacústico de los tonos de combinación.

En *Jungle* se obtiene la misma sensación en relación con los tonos de combinación debido a que contiene una suerte de re-exposición de algunos materiales; esto solamente sucede al final de la pieza, cuando se presentan las dos alturas con movimiento contrario como en *Selva*, sin embargo, mantienen su propia personalidad. La resolución del intérprete es un gran aporte para materializar las ideas de la pieza cuando se solicita tomar algunas decisiones, pues la sección electrónica que procesa el sonido logra un estrato disonante por su previo diseño; captura y retrasa la señal de audio, lo cual genera otra capa que se entreteje con la interpretada en la flauta en tiempo real, adquiriendo momentos con alto grado de contenido armónico disonante. El mecanismo que desencadena el fenómeno de los tonos de combinación ocurre mediante la presentación de las dos alturas, que por la cercanía y el movimiento entre sí nos permiten percibir esa reacción en nuestro oído.

Estepa cierra la trilogía de *Retratos al exterior*, con un acercamiento al fenómeno distinto al presentado antes, en estrategias que diversifican las técnicas instrumentales y los elementos ocupados para su realización. En cuanto a la exploración de los tonos de combinación es posible generar sensaciones bastante cercanas mediante la producción de multifónicos, seguramente por la suerte de síntesis substractiva que se necesita para ejecutar esta técnica, ya que los resultados acústicos permiten la apreciación de las frecuencias, bastante presentes en alturas donde este tipo de fenómenos son más evidentes y que producen entre ellas mismas intervalos disonantes que estimulan al oído para generar tonos de combinación. Por otro lado, los elementos creados electrónicamente están dirigidos a generar este tipo de sensaciones psicoacústicas, en específico los impulsos que se perciben en algunas secciones de la pieza que interactúan con la propuesta generada por la flauta.

A mi juicio, los tonos de combinación ocurren gracias a la presentación de ráfagas de impulsos en distintos registros que, desde su aparición, estimulan la cóclea notoriamente. Cuando se presentan los multifónicos en la flauta se percibe de igual forma esta sensación dentro del oído, la cual se desarrolla en relación con los intervalos que se logran a través de esta técnica, por lo que desde mi propia escucha hago la conjetura de que la propuesta en general permite la percepción de dichos tonos.

Leïmma explora, a través de la improvisación de todo el ensamble, esta serie de sensaciones que se circunscriben a la combinación de tonos como mecanismo básico. La improvisación o composición en tiempo real, que fue generada en colectivo, resultó una experiencia bastante reveladora en la toma de decisiones encaminadas a generar los encuentros y desencuentros que libremente están interpelados en el acto, así como la interacción con el fenómeno mientras dura la activación individual o colectiva de los estímulos, situación que surge como respuesta auditiva en los miembros del ensamble y en el público. De modo que llevar a la práctica musical este tipo de experiencia y presentarla en vivo ha sido muy enriquecedor, pero es todo un reto. El registro constata que se presentan momentos donde claramente se perciben los tonos de combinación, así como sensaciones disonantes y consonantes en cierta medida y cómo los intérpretes exploran su instrumento con esta tarea. En este caso, podemos concluir que la dotación instrumental y electrónica construye un discurso sonoro que resulta estimulante para la cóclea y que permite experimentar estas reacciones auditivas con distintas combinaciones de colores.

Finalmente, *Locus* explora los tonos de combinación con diversas estrategias, donde técnicas enfocadas en los tonos dobles, clics o ráfagas de impulsos y la síntesis aditiva directa son ocupadas con la finalidad de evidenciar los tonos de combinación, lo cual se logra en varios momentos donde se expone al espectador a estas tensiones con densidades en distintas proporciones. Ya que su producción es por completo electrónica se experimenta el fenómeno nítidamente; sin embargo, también juega un papel importante el grado de “visibilidad” del fenómeno, que se desvanece en varias ocasiones hasta un punto subliminal y reaparece en la propuesta. Por otro lado, desde una perspectiva metafórica hace referencia al “lugar” donde se perciben estas sensaciones, convirtiéndose de momento en el foco de atención, por lo que los resultados son bastante satisfactorios.

A manera de conclusión, las respuestas fisiológicas de los tonos de combinación dependen en lo fundamental de la complejidad del espectro con el cual se construyen los estímulos, lo que resulta en una decisión determinante si buscamos la presencia nítida y clara de este fenómeno, o si son de nuestro interés colores y mezclas más convencionales. Esto determina la diferencia intrínseca de los componentes, ya correspondan a un sonido generado con un instrumento acústico, o a uno electrónico o digital. Esto imposibilita el obtener resultados idénticos.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Resulta interesante la participación cada vez más frecuente del espectador en una obra o dentro de ella, la cual es interactiva y tiene una suerte de organismo vivo que muta y se transforma, esto le facilita cierto control de la experiencia en cuanto a la cantidad o calidad del resultado. En nuestro caso resulta concluyente que los tonos de combinación tratados a lo largo de este documento constituyen una experiencia que es posible constatar, pero necesita atención y concentración para ser percibida. Además, son posibles otras sensaciones dependientes a este fenómeno en gran porcentaje como la lateralidad, que se manifiesta al girar levemente la cabeza, sensibilidad que también se refleja cuando adquirimos la postura de las manos como receptáculo, como caja reflectora o amplificadora de sonido. Sin embargo, queda pendiente para futuras investigaciones valorar estos posibles porcentajes que, desde un primer análisis, se presentan con una característica no lineal, por lo que consideramos que, para llegar a una conclusión contundente en este caso, técnicas como la resonancia magnética o alguna otra alternativa poco invasiva y mediada por la tecnología aportarían datos críticos para aseverar que se trata de un aspecto no lineal, resultado del mismo fenómeno psicoacústico.

Definitivamente existen umbrales y bordes que se difuminan entre sonidos generados con instrumentos tradicionales o electrónicos; al ruido podemos encontrarlo en distintas proporciones dentro del sonido más “redondo” de cualquier instrumento. Ya que el ruido blanco contiene todas las frecuencias es por derecho el que mejor enmascara cualquier otro espectro, por lo que resulta una estrategia atractiva e indispensable para explorar en ámbitos de las características espectromorfológicas adherentes a un sonido.

A manera de conclusión diríamos que los fenómenos psicoacústicos conocidos como tonos de combinación pueden utilizarse para material crítico, en el sentido de agencia creativa, y en la disposición de ser explorados con distinto grado de interconexión con la obra. Esta tarea no resulta siempre idéntica, ya que es interactiva en gran medida; por lo tanto, las respuestas o resultados auditivos no serán iguales, sin embargo se manifestarán de manera cercana a un resultado que, pese a sus transformaciones, indica un tercer sonido, una sensación que resulta de una combinatoria y, en específico, plantea una construcción distinta. Ésta se va forjando en el aire, con lo intangible. Debido a su estadio subliminal, consideramos esta experiencia como una ilusión o una realidad que permanece escondida; ha llegado el momento de develar sus misterios a través de la tecnología y la música.

Conclusiones

Cuando comencé esta investigación desde la especialidad de tecnología musical, los criterios que se atendieron estaban dirigidos a comprender el fenómeno psicoacústico de los tonos de combinación en un contexto científico. Sin embargo, a lo largo de este trabajo se trazaron nuevos horizontes que ofrecieron un balance personal que repercutió en mi quehacer artístico; a partir de la ciencia tuve un detonante para la creación donde la tecnología es parte del entramado con el cual no sólo se observa o experimenta con el fenómeno, conforma a su vez una serie de procedimientos y toma de decisiones que desembocan en un resultado estético que filtra una postura artística particular. Dicho resultado tampoco se muestra como única lectura; al tener cualidades interactivas, se construye en comunión con el espectador, por lo que la apuesta no sólo es por la creación de música nueva mediada por tecnología: invita a experimentar nuevas formas de escucha que atienden umbrales sónicos poco transitados. En este sentido adquiere valor la realización de una obra artística de estas características, ya que además del componente materializado en términos creativos explora la naturaleza auditiva con el propósito de percibir otras sensaciones; invita al espectador a escuchar otros sonidos, a ser partícipe activo de la experiencia.

Así mismo, abre un espacio de reflexión acerca de la relación entre el sonido que el ser humano percibe de manera habitual o al escuchar música, y otras sensaciones auditivas que es capaz de experimentar, como la sensación al interior del oído, de los tonos de combinación, lo cual exhibe una connotación espacial entre las fuentes que presentan los estímulos acústicos y el lugar donde se manifiesta este fenómeno. A través de este trabajo se ponen en evidencia los tonos de combinación como reacciones no lineales de la escucha en una propuesta artística; denotan la sensibilidad que tenemos ante el fenómeno psicoacústico tratado en este documento, así como el enorme potencial encaminado a la creación sonora que puede desarrollarse dentro de este ámbito.

Seguramente la sensibilidad auditiva explorada en este trabajo es fundamental

5. CONCLUSIONES

para la música como la conocemos hoy; disonancia y consonancia son conceptos utilizados con frecuencia en los cursos regulares de música, y acaso los tonos de combinación que pueden representarse como ruido, como sonido desagradable, una interferencia o, en el mejor de los casos, un tercer sonido, serían parte de los cimientos de la armonía moderna, pero se ha investigado poco en este sentido. Es preciso mencionar que dicha sensibilidad también guarda connotaciones importantes para nuestra relación con el entorno y con otras especies, lo cual, en analogía con las teorías evolutivas y de adaptación, contendría significados relacionados con la transformación de los aspectos estéticos de la música de nuestra época.

Para introducir este fenómeno psicoacústico dentro de un curso teórico y de composición musical es indispensable reconocer todos los sistemas de afinación, los cuales dividen la octava como intervalo universal en distintas proporciones, dando lugar a diversos temperamentos y escalas desarrolladas a través de la historia como la afinación pitagórica, el temperamento justo o el sistema bien temperado, así como la serie de los armónicos, por mencionar algunos. Dichas particularidades han sido exploradas en la búsqueda de una sensación auditiva más agradable o consonante; es decir, cuando dos sonidos guardan una relación simple serán más consonantes, como el unísono (1:1) y la octava (2:1); y ocurrirá al contrario si su relación es más compleja, como la quinta (3:2) y la cuarta perfecta (4:3). Es posible realizar dicha exploración con instrumentos musicales tradicionales, sin embargo los dispositivos electrónicos y digitales dedicados al análisis de sonido nos ayudan a comprender estas nociones.

Las diferencias a nivel estético y perceptual respecto a las condiciones de escucha acusmática o de apreciación en concierto de estas piezas, están regidas sobre todo por aspectos que inferen en un pequeño porcentaje con las propiedades psicoacústicas que me interesa generar. Cabe destacar que si se trata de la apreciación acusmática del material fijado en un soporte, hay que considerar que contiene tanto la captura del instrumento como del cuarto que puede tener atributos que adhieren color o no, y una serie de procesos a los que se somete la muestra, sin embargo estos atributos ya están fijos. La variable a la que nos sometemos en este caso, es a la del equipo o dispositivo que utilizamos para difundir estos materiales y el espacio físico donde se encuentra dispuesto dicho equipo, sin embargo esto no compromete profundamente la percepción de las propiedades que nos interesan. La apreciación repetida de una grabación puede ayudar a detectar una y otra vez el mismo fenómeno permitiendo su reconocimiento pleno. Por el contrario, en una situación en vivo siempre nos encontramos ante la interpretación de la obra y la respuesta acústica del recinto, que no tiene proporciones fijas.

El papel de la escucha del intérprete durante el montaje y la ejecución de las piezas es determinante para un resultado óptimo. Durante el proceso de mon-

taje es necesario el entrenamiento constante para familiarizarse con el material y vencer posibles resistencias, como consecuencia de nuestra educación musical occidental. En el punto de la ejecución es definitiva la escucha no sólo atendiendo a su instrumento, sino también cómo se comporta la fuente sonora en el recinto, o la posible relación con otros instrumentos que se ejecutan simultáneamente. Es común que sobre la marcha se ajusten dinámicas y afinaciones. Estos ajustes podrían ser las variables más importantes de las cuales depende la apreciación de los tonos de combinación en mayor o menor grado, ya que los componentes que generan los tonos de combinación tienen una relación interválica estrecha y donde una pequeña desviación provocaría un resultado notablemente distinto. Por lo tanto, para la construcción de estas piezas es precisa la escucha activa como fundamento colectivo, la premisa combinatoria de tonos y la composición en tiempo real, permitiendo ajustes, silencios, cascadas de sonido, interacciones, conversaciones, encuentros, desencuentros y errores.

Desde la perspectiva del espectador debe considerarse que para la correcta apreciación de los resultados es indispensable cierta actitud mientras se realiza la escucha, además de cierto grado de entrenamiento para lograr el objetivo. Estos factores repercuten en la experiencia de manera distinta, ya que no será lo mismo apreciar una y otra vez algún material grabado que vivir el momento único de un concierto. El grado de concentración de un espectador en un concierto podría ser mayor; sin embargo los tonos de combinación pueden hacerle creer, si es que los percibe conscientemente, que se trata de un ruido ajeno a lo que se propone en términos musicales.

Estas diferencias repercuten en cierta medida con los resultados a nivel estético y perceptual de la obra. La condición óptima para vivir la experiencia es en concierto, en contraste la propuesta digital debió ser manipulada y ajustada para poder ser empaquetada en el soporte que la contiene; sin embargo, con la finalidad de apreciar las propiedades psicoacústicas que me interesa generar, estas diferencias no representan un problema grave en esa tarea, ya que en el trabajo de composición se considera, por un lado, el rango de alturas seleccionado, donde la cóclea tiene una mayor respuesta como las combinaciones diáfanos y las enmascaradas, que pueden coincidir o contrastar los materiales presentados, los cuales por momentos nos sumergen sutilmente dentro de las sensaciones de rugosidad, aspereza y los tonos de combinación que proponemos.

Las consecuencias acústicas de los tonos de combinación son más bien subjetivas, ya que se trata de combinaciones en un sentido musical y no como un estudio de laboratorio, por lo que dentro del contexto en el cual se desarrolló este trabajo, como consecuencia acústica perceptible tenemos a ese sonido que corresponde a un ruido, pero a la vez a una altura con poca definición o claridad. Ya que cada sistema auditivo es único, concluimos que la interpretación de la respuesta acústica también es personal y requiere una evaluación basada en la

5. CONCLUSIONES

experimentación de estas combinaciones.

El camino adecuado para la plena apreciación de este fenómeno psicoacústico plantea, tanto para el espectador como para el intérprete, un reto en el sentido de que no sea una simple formulación efectista. Lo que se espera es seguir experimentando estas propiedades mediante cierto entrenamiento, con el afán de sensibilizar la audición ante otras experiencias auditivas.

Finalmente es importante mencionar que realizar una investigación de estas proporciones en el marco de un posgrado en tecnología musical, significó para mí una experiencia trascendente, ya que me dio acceso y permitió consolidar mis conocimientos en el uso de herramientas científicas y tecnológicas para el trabajo con sonido, en facetas como el diseño, la generación, gestión y análisis de audio, lo que me ayudó a constituir una arquitectura interactiva esculpida acústicamente como propuesta artística y musical, y de esta forma concretar la investigación documentada a través de este escrito. Así mismo, el intercambio de ideas, la guía del tutor y de los miembros del sínodo, que desde su experiencia aportaron un apoyo invaluable, como la ayuda de los compañeros del posgrado para el montaje de las piezas para su presentación y producción han servido de incentivo para culminar este trabajo en este espacio abierto al diálogo y a la reflexión acerca de las artes sonoras y la condición humana de la escucha.

Como artista y compositor, este posgrado me ha servido para activar experiencias que plasmadas dentro del proyecto artístico reflejan una trayectoria, que seguramente seguiré explorando.

Bibliografía

- AMACHER, MARYANNE (1999). «Sound Characters (Making The Third Ear)». CD,LP, Album. **24**
- (2008). *Psychoacoustic phenomena in musical composition*. Arcana III. **24**
- ANDRÉS, R. (2008). *El mundo en el oído. El nacimiento de la música en la cultura*. Acantilado. **9**
- ARCE, MIKEL (2014). *El espacio y la dimensión del sonido. Una observación desde la experimentación artística*. Tesis doctoral, Universidad del País Vasco. **24**
- AVAN, P; BÜKI, BÉLA y PETIT, CHRISTINE (2013). «Auditory Distorsions: Origins and Functions». *Physiol Rev*, **93**, pp. 1563 – 1619. **20**
- BIACABE, B.; BONFILS, P.; MOM, T. y AVAN, P (2000). «Anatomía funcional de las vías auditivas». *EMC - Otorrinolaringología*, **29(1)**, pp. 1–9. **13**
- CANTÚ, DANIEL; LERA MEJÍA, JORGE ALFREDO y BACA PUMAREJO, JOSÉ RAFAEL (2017). «Especialización hemisférica y estudios sobre lateralidad». *Revista de psicología y ciencias del comportamiento de la Unidad Académica de Ciencias Jurídicas y Sociales*, **8(2)**, pp. 6–50. **21**
- CETTA, PABLO (2003). «Modelos De Localización Espacial Del Sonido Y Su Implementación En Tiempo Real». *Artes Multimediales - IUNA*. **22**
- CHAURASIYA, H. (2020). «Time-frequency representations: Spectrogram, cochleogram and correlogram». *Procedia Computer Science*. **18**
- FLETCHER, H. y MUNSON, W. A. (1933). «Loudness, its definition, measurement and calculation.» *Bell System Technical Journal*, **12(4)**. **16, 17**

BIBLIOGRAFÍA

- FURST, M ET AL (1988). «Ear canal acoustic distortion at $2f_1 - f_2$ for human ears: Relation to other emissions and perceived combination tones». *J. Acoust. Soc. Am.*, **84**(1). 21
- GOLD, THOMAS (1948). «Hearing. II. The physical basis of the action of the cochlea.» *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences.*, **135**(881), pp. 492 – 498. 10
- HACHMEISTER, JORGE (2003). «An Abbreviated History of the Ear: From Renaissance to Present». *Yale Journal of Biology and Medicine*, **76**, pp. 81–86. 10
- HACKETT, TROY (2015). «The Human Auditory System». En: *Handbook of Clinical Neurology*, . 15
- JARA, NATALIA y DÉLANO, PAUL H. (2014). «Avances en corteza auditiva». *Otorrinolaringol. Cir. Cabeza Cuello*, **74**. 13
- KEMP, DAVID (2008). «Otoacoustic Emissions: Concepts and Origins». En: Manley G.A.; Fay R.R. y Popper A.N. (Eds.), *Active Processes and Otoacoustic Emissions in Hearing*, tomo 30 de *Springer Handbook of Auditory Research*. Springer. 10
- KENDALL, GARY S.; HAWORTH, CHRISTOPHER y CÁDIZ, RODRIGO (2014). «Sound Synthesis with Auditory Distortion Products». *Computer Music Journal*, **38**(4), pp. 5 – 23. 21
- KOELSCH, STEFAN; KASPER, ELISABETH; SAMMLER, DANIELA; SCHULZE, KATRIN; GUNTER, THOMAS y D FRIEDERICI, ANGELA (2004). «Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing». *Nature Neuroscience*, **7**(3). 14
- KOELSCH, STEPHAN (2012). *Brain and Music*. Willey. 14
- LACH, J.S. (2008). «Curvas de disonancias Investigación composicional sobre curvas de disonancia». web.
<http://cmm.cenart.gob.mx/tallerdeaudio/documentacion/curvas/curvas.html>. 17
- MALASPINA, CECILE (2018). *An Epistemology of noise*. Bloomsbury Academic. 23

-
- McFADDEN, DENNIS; PASANEN, EDWARD G; LESHIKAR, ERIN M; HSIEH, MICHELLE D y MALONEY, MINDY M (2012). «Comparing behavioral and physiological measures of combination tones: Sex and race differences». *The Journal of the Acoustical Society of America*, **132(2)**, pp. 968–983. **18**
- MIYARA, FEDERICO (1999). *Acústica y sistemas de sonido*. Universidad Nacional de Rosario. **5**
- MOORE, B. C. (2012). *An introduction to the psychology of hearing*. Brill.. **20**
- MUNAR, ERIC; ROSSELLÓ, JAUME; MAS, CARMEN; MORENTE, PILAR y QUETGLES, MIQUEL (2002). «El desarrollo de la audición humana». *Psicothema*, **14(2)**, pp. 247–254. **2, 14, 22**
- PARKER, EVAN (1978). «Monoceros». LP, Vinyl, CD. **25**
- PICKLES, JAMES (2012). *An Introduction to the Physiology of Hearing*. Emerald, fourth.^a edición. **11**
- PRESSNITZER, D y MCADAMS (2000). «Acoustics, Psychoacoustics and Spectral Music». *Contemporary Music Review*, **19**, pp. 33 – 59. **26**
- PRIETO, CARLOS (2013). *Variación de voltaje*. Deleátur. **4**
- RAPHAEL, YEHOASH (2003). «Structure and innervation of the cochlea». *Brian Research Bulletin*, **60**, pp. 397–422. **12**
- REZNIKOFF, IGOR (2010). «La Dimension Sonore des Grottes Préhistoriques á Peintures». En: *10éme Congrès Français d’Acustique*, . **9**
- RISTOL, JOSÉ EUGENIO GARCÍA-ALBEA (1999). «Algunas notas introductorias al estudio de la percepción». En: *El desarrollo de la audición humana*, pp. 179–200. Alianza. **13**
- ROBLES, DE LA PUENTE J. (2013). *Aspectos Cognitivos, Emocionales Y De Personalidad En Respuesta a Estímulos Musicales Consonantes Y Disonantes*. Tesis doctoral, Universidad Computense de Madrid. **18**
- ROEDERER, J. G. (2008). *The physics and psychophysics of music: an introduction*. Springer Science Business Media.. **19**
- SCHUMACHER, FEDERICO (2021). *La espacialidad en la experiencia musical acústica: Un enfoque cognitivo*. Centro Mexicano para la Música y las Artes Sonoras (CMMAS). **22**
-

BIBLIOGRAFÍA

- SOLÍS, HUGO (2018). *El proceso en la producción de arte electrónico*. Universidad Autónoma Metropolitana. 30
- TENNEY, JAMES (1988). *A History of 'Consonance' and 'Disonance'*. Excelsior Music Publishing Company. 15
- VASSILAKIS, PANTELEIMON NESTOR (2001). *Perceptual and Physical Properties of Amplitude Fluctuation and their Musical Significance*. Tesis doctoral, Univerity of California. 16
- ZATTRA, LAURA (2018). *Hugues Dufourt, La musique spectrale. Une révolution épistémologique.. twentieth-century music*, pp. 125 – 130. Cambridge University Press (CUP). 26
- ZWICKER, E. (1961). «Subdivision of the Audible Frequency Range into Critical Bands (Frequenzgruppen)». *The Journal of ther Acoustical Society of America*, 33(2). 16, 17
- ZWICKER, E. y FASTL, H. (2007). *Psychoacoustics: Facts and models*. Springer Science Business Media.. 13, 19

A.1. Apéndice

En las siguientes líneas de código observamos dos frecuencias simultáneas generadas con un oscilador de ondas sinusoidales con una razón de 1.22. El método (dup) permite la salida estéreo del estímulo.

Listing A.1: 2,000 y 2,440 Hz

```
1 ~r = 1.22; // ratio
2 ~f1 = 2000; // primer frecuencia
3 ~f2 = (~f1 * ~r ); // segunda frecuencia = 2440.0
4 a = {SinOsc.ar([~f1, ~f2], 0, mul: 0.3).dup}.play
```

Este ejemplo es similar al anterior, pero permite controlar la amplitud independientemente. La mezcla se realiza con la clase (Mix) y se amplifica en dos canales estéreo con la clase (Pan2).

Listing A.2: 2,000 y 2,440 Hz con volumen independiente

```
1 b = {Mix.ar(Pan2.ar(SinOsc.ar([2000, 2440], 0, [0.3, 0.25])))}.play
```

Las frecuencias se colocan en un arreglo o colección que permite de manera simultánea sonar todas las frecuencias con controles de amplitud independientes.

Listing A.3: Síntesis aditiva directa

```
1 //::: (F = f2 - f1 = f3 - f2, ect) :::
2 c = {Mix.ar( //===mezcla todo el material
3     Pan2.ar( //===dos canales
4         SinOsc.ar( //=== oscilador
5             [2000, 2440, 2880, 3320, 3760, 4200, 4640 ], // conjunto de
6                 frecuencias
7                 0, // fase
8                 [0.05, 0.05, 0.05, 0.05, 0.05, 0.05, 0.05] // amplitudes
9             )
10         )
11 }.play
```

Este arreglo más grande puede escribirse de esta otra forma sin necesidad de ingresar las frecuencias una por una; por el contrario, es posible realizar la operación cambiando los mismos parámetros de una forma automatizada:

Listing A.4: Síntesis aditiva directa B

```
1 // ::: version automatizada
2 (
3 d = {Mix.ar( // mezcla todo
4     Pan2.ar( // lo reparte en dos canales
5         SinOsc.ar( // genera onda sinusoidal
6             Array.fill( // crea un conjunto de un numero dado
7                 7, {arg i; 440 * i } + 2000).postln, // aqui se
8                 implementan siete frecuencias que, a partir de
9                 2000Hz se le suman 440Hz cada vez.
10             mul:0.19) // el ajuste del volumen es global en este caso
11         )
12     )
13 }.play;
14 )
```

Listing A.5: Síntesis aditiva directa función

```

1  (//:::Funcion Sintesis Aditiva Directa (F = f2 - f1 = f3 - f2, ect)
2  ~fsad = {|f1, r, i| // nombre funcion y argumentos de entrada
3      var sad, frat, rest; // variables
4      frat = f1 * r; // frecuencia 1 * ratio
5      dif = frat - f1; // diferencia
6      sad = Array.fill(i, {|i| dif * i} + f1); // crea una coleccion de un tamaño
7      sad.("Sintesis_Aditiva_Directa".postln); // imprime los datos obtenidos
8  });
9
10 ~fsad.value(2000, 1.22, 7) // se evalua frecuencia 1, ratio, dimension

```

Listing A.6: Estepa-electrónica

```

1  // ::: ESTEPA ( para flauta + Laptop )
2  // ***** Click Mouse *** ON - OFF ***
3  (
4  ~noise= {
5      HPF.ar( // se define filtro pasa altas
6          Pan2.ar( // reparte la senal en dos canales
7              BrownNoise.ar( // ruido cafe
8                  MouseX.kr(0.01, 0.31))), // modifica amplitud
9          MouseY.kr(10, 20000, 1), // modifica altura
10         MouseButton.kr(0,1,2) // interruptor encendido/apagado
11     )
12 }.play;
13 )
14 //=====
15 ~noise.free;
16 //=====
17 ( // sintetizador generador de armonicos
18 ~pedalHarm = {
19     var harmonics = 60, fund = 146.8323839587, volGen = 0.02;
20     Mix.fill(harmonics, {arg count;
21         Pan2.ar(SinOsc.ar(fund*(count + 1), // calcula cada armonico
22             mul: SinOsc.kr(rrand(1/8, 4/6), mul: 0.5, add: 0.5)),
23             7.0.rand2)
24         }) / (6*harmonics)*volGen
25 }.play;
26 )

```

A. CÓDIGO/MANUALES/PUBLICACIONES

```
27 //=====
28 ~pedalHarm.free;
29 //=====
30 (
31 ~percusive = SynthDef.new(\percusiva, // se define el sintetizador percusiva
32   {arg dus1= 20; // rango inferior "razonable"
33     var sig, amp, env; // variables
34     env = EnvGen.kr(Env.new([0,1,0],[10,15],[1,-1]), doneAction: 2); //
35       envolvente
36     amp = Dust.kr({ExpRand(0.03, 1)}!8).range(0,0.9); // impulsos
37       aleatorios vinculados a la amplitud
38     sig = SinOsc.ar({ExpRand(dus1,15000)}!8); // oscilador ajustado a
39       rango superior aleatorio
40     sig = sig * amp * env; // operacion de sintesis
41     sig = Splay.ar(sig) * 0.5; // reparte la senal en eel campo estereo
42     Out.ar(0, sig); // define los canales de salida
43   }
44 ).add;
45 )
46 g = Synth(\percusiva) // activa el sintetizador
47 //=====////////////////////=
48 ( // accede y activa el MIDI en la computadora
49   MIDIClient.init;
50   MIDIIn.connectAll;
51 )
52 ( // define una respuesta de referencia MIDI la cual conecto a un controlador
53   MIDIDef.cc(
54     \responsorio, {arg val, num;
55       [num, val].postln;
56       //multie —— pbind
57       if (num == 7) {if (val == 127) {~percusive = Synth(\percusiva)}};
58       if (num == 16) {if (val == 127) {~percusive.free}};
59     });
60 )
61 MIDIDef.freeAll; // limpia y desactiva la definicion
62 MIDIDef.all
```

El siguiente ejemplo es un sintetizador que permite explorar a través de la síntesis granular algunas muestras de audio; mediante la modificación en tiempo real del código permite manipular y transformar las características espectromorfológicas de las muestras utilizadas.

Listing A.7: Síntesis granular con SuperCollider con la clase: TGrains

```

1 // ruta hacia el archivo de audio original
2 a = Buffer.read(s, "/Users/galogonzalez/Documents/MuestrasMONO/tambow.wav");
3
4 // definicion de sintetizador que utiliza TGrains para la sintesis granular
5 ~tambow = {|amp=0.71 |
6     var trate, dur, rate;
7     trate = MouseY.kr(0.02,30,1);
8     dur = 60/trate;
9     rate = Dseq([-1.0, 0.01, 1, 0.5, 0.5, 0.2, 0.1], inf);
10    TGrains.ar(12, Impulse.ar(trate), a, rate, MouseX.kr(0, BufDur.kr(a)), dur,
11              Dseq([-1, -0.5, 0, 0.5,1], inf), 0.5, 1)*amp;}
12
13 ~tambow.play // toca el sintetizador
14 ~tambow.fadeTime = 30 // modifica la velocidad de cambio de un parametro
15 ~tambow.stop // detiene el sinte

```

Listing A.8: Sintetizador y un par de patrones

```

1 SynthDef(\galogsinegrain, { // definicion de sintetizador
2
3     |out = 0, freq = 100, sustain = 0.09| // argumentos de salida, de frecuencia y
4     del envolvente
5     var env; // se define la variable envolvente
6     env = EnvGen.kr ( Env.perc ( ExpRand ( 0.0001, 0.3 ) , sustain, 0.2 ),
7     doneAction:2 ); // envolvente
8     Out.ar ( out, Pan2.ar ( SinOsc.ar ( freq, 0, env ), 0, 1, 2, 0.5 ) ) ).add;
9     // salida
10
11 // reproduce un patron en bucle donde elige las frecuencias que tocara el
12 // sintetizador a una velocidad determinada.
13 a=Pbind(\instrument, \galogsinegrain, \freq, p { loop { ([1000.0, 4000.0].choose +
14 [1000.0, 4000.0].choose + [10,40].choose).postln.yield } }, \dur, 0.2 ).play;

```

Listing A.9: Sintetizador

```
1 // :::OtoSynth :::
2 ~xOto = {|amp=0.2581|
3     Mix.new( // mezcla todo
4         Pan2.ar( // estereo
5             SinOsc.ar( // genera onda sinusoidal
6                 Array.fill( // conjunto de frecuencias
7                     1, { arg i; 300* i }+2000); // dimension,
8                         ratio y fundamental
9                     , mul: 0.1) // volumen
10                * SinOsc.kr(ExpRand(10, 50.0)), // frecuencia moduladora
11                FSinOsc.kr(0.3),amp // cambia velocidad de paneo
12            )
13        )
14 ~xOto.play // enciende
15 ~xOto.fadeTime = 35 // cambio gradual
16 ~xOto.stop // apaga
```

Selva
(para flauta amplificada)

Galo González 2017

♩ = 60
Whistle Tone

Flauta

Sonido eólico (Sh) 7 W.T.

ppp pp p mp pp p mf pp

7 sh. ord. sh. ord. sh. ord.

Fl. *p mp p < mf > p*

12 eólico sh ord. sh. ord. sh. 7 sh. 7

Fl. *p p < mf > p p < mf > p*

16 sh ord. sh ord. sh ord.

Fl. *p < mf > p p < mf > p mf*

20

Fl. *8*

23 voz

Fl. *mf f mf*

28 ord. eólico (sh) ord.

Fl. *glass*

33 sh. 7

Fl. *f*

36 hollow tone ord.

Fl. *ppp*

Figura A.1: *Selva* [Completa]

:::Jungle:::

Galo González

The musical score is divided into three systems, each with a Flauta (Fl.) part and an Electrónica (Elect.) part.

- System 1:**
 - Flauta:** Labeled 'Llaves' and 'Chasquidos con la lengua y con labios'. It features a melodic line with 'x' marks indicating articulation and rhythmic patterns with triplets (3) and quintuplets (5).
 - Electrónica:** Labeled 'Pitchdelay(pd) + Hysteresis(h)'. It shows MIDI-style notation with notes and rests, with 'pd_3' and 'h_2' indicating specific parameters.
- System 2:**
 - Fl.:** Starts at measure 4. Includes the instruction 'ord.' and vocalizations 'Jun!...' and 'ah ka!'. It features rhythmic patterns with triplets (3) and quintuplets (5).
 - Elect.:** Labeled 'pd_1' and 'pd_3'. It shows MIDI-style notation with notes and rests, with 'h_1' indicating a parameter.
- System 3:**
 - Fl.:** Starts at measure 7. Includes the instruction 'aeolian ord.' and 'Llaves'. It features rhythmic patterns with triplets (3) and quintuplets (5), and the instruction 'cerca de la embocadura'.
 - Elect.:** Labeled 'pd_1' and 'pd_2'. It shows MIDI-style notation with notes and rests, with 'h_2' indicating a parameter.

Figura A.2: *Jungle* [Pag.1]

2

The musical score is divided into five systems, each with a Flute (Fl.) and Electric Bass (Elect.) part. The Flute part includes various techniques and dynamics, while the Electric Bass part provides a rhythmic accompaniment.

System 1 (Measures 11-17): The Flute part consists of a continuous eighth-note pattern. The Electric Bass part is marked with *pd_3*.

System 2 (Measures 18-22): The Flute part features specific techniques: *Frullato* (measures 18-19), *Slap* (measure 20), *Sonido eólico (Sh)* (measures 21-22), and another *Slap* (measure 22). Dynamics include *f* and *f*. The Electric Bass part continues with a rhythmic pattern.

System 3 (Measures 23-25): The Flute part includes *simil* (measures 23-24) and *Llaves* (measures 24-25). Dynamics include *f*. The Electric Bass part continues with a rhythmic pattern.

System 4 (Measures 26-28): The Flute part includes *ord.* (measures 26-28). Dynamics include *mf* and *mf*. The Electric Bass part continues with a rhythmic pattern.

System 5 (Measures 29-31): The Flute part includes *mf* and *pp* dynamics. The Electric Bass part continues with a rhythmic pattern.

Figura A.3: *Jungle* [Pag.2]

Estepa

Galo González

♩=60

Sonido eólico (Sh)

Flauta

ppp *p* *mf* *p* *mf* *p* *mf*

Brown noise + HPF

Laptop

pp *mp* *p* *p*

6

Fl.

p *mf* *p*

Lap.

mf

9

Frulatto

Fl.

mf *p* *f* *mp* *f*

Lap.

pp

13

Synth Harmonics "D"

p

BrowNoise + HPF

Lap.

mf *p*

Synth::Percusiva

Figura A.4: *Estepa* [Pag.1]

2

17 ord.

Fl.

Lap.

p *mf* *p*

25 sonido eolico (s) ord. ord. (s)

Fl.

Lap.

p *mf* *mf* *p*

29 ord. (s) eolico (s) ord.

Fl.

mf

Synth::Percusiva

34 sonido eólico (s) ord. (s) ord.(s)

Fl.

Lap.

mp *f* *mf*

Figura A.5: *Estepa* [Pag.2]