

Análisis De Cantos Ancestrales Muisca Usando La Serie De Fourier

Nicolas Rodas Serna

Sergio Andrés Briceño González

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de sistemas y computación

Fusagasugá, Colombia – 2025

Análisis De Cantos Ancestrales Muiscas Usando La Serie De Fourier

Artículo científico

Sergio Andrés Briceño González

Nicolas Rodas Serna

Directora: Kelly Johana Infante Beltrán

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de sistemas y computación

Fusagasugá, Colombia – 2025

Tabla de contenido

Introducción	7
Contextualización Del Problema	8
Justificación de la investigación	10
Objetivos	12
<i>Objetivo General</i>	12
<i>Objetivos Específicos</i>	12
Alcance De La Investigación	12
Pregunta De Investigación	14
Marco Referencial	15
Marco Teórico	15
<i>Antecedentes</i>	18
Marco conceptual.....	21
<i>Música Ancestral</i>	21
<i>Cosmovisión Sonora</i>	21
<i>Interculturalidad</i>	22
<i>Patrimonio Sonoro</i>	22
<i>Canto Ancestral</i>	23
<i>Análisis Espectral</i>	23
<i>Transformada Rápida de Fourier</i>	24
<i>Espectrograma</i>	24
<i>Procesamiento Digital De Señales</i>	25
<i>Separación De Fuentes De Audio</i>	25
<i>Software de Análisis Musical</i>	25
Diseño Metodológico	26
Enfoque Metodológico.....	26
Estrategia De Desarrollo.....	28
Gestión De Tareas y Herramientas.....	31
Desarrollo Del Proyecto	36

Resultados y Discusión	47
Resultados Funcionales Del Sistema	47
Análisis De Los Resultados Acústicos	49
<i>Primer Audio</i>	<i>50</i>
<i>Segundo Audio</i>	<i>54</i>
Discusión Técnica y Cultural	57
Implicaciones Prácticas	59
Conclusiones	60
Referencias Bibliográficas	63
Apéndices	66
Apéndice A. Artículo Científico y Sometimiento En Revista	66
Apéndice B. Código Fuente y Manuales Técnico y De Usuario	66
Apéndice C. Cronograma De Actividades	66

Tabla de figuras

Figura 1	16
Figura 2	27
Figura 3	28
Figura 4	30
Figura 5	32
Figura 6	32
Figura 7	33
Figura 8	33
Figura 9	34
Figura 10	34
Figura 11	35
Figura 12	36
Figura 13	38
Figura 14	40
Figura 15	41
Figura 16	42
Figura 17	42
Figura 18	43
Figura 19	43
Figura 20	44
Figura 21	45
Figura 22	49
Figura 23	51
Figura 24	52
Figura 25	53
Figura 26	54
Figura 27	55
Figura 28	56

Resumen

Este proyecto presenta el desarrollo de un software para el análisis acústico de cantos ancestrales muisca mediante la aplicación de la Transformada Rápida de Fourier (FFT). La propuesta surge como una respuesta a la necesidad de contar con herramientas técnicas no invasivas que permitan explorar la riqueza sonora de expresiones patrimoniales sin alterar su contenido simbólico. El sistema permite cargar y convertir audios, separar sus componentes vocales e instrumentales con el modelo Demucs, aplicar la FFT y visualizar espectrogramas detallados desde una interfaz gráfica accesible. Se adoptó una metodología incremental, validando cada fase funcional en acompañamiento con la dirección del proyecto. Los resultados obtenidos incluyen espectros precisos, identificación de frecuencias predominantes y análisis diferenciados por componente, lo que facilita la interpretación etnomusicológica y pedagógica del material sonoro. La herramienta fue documentada a través de manuales, un artículo científico y su publicación en un repositorio digital, garantizando su trazabilidad y utilidad como parte de un proyecto de investigación mayor.

Palabras clave: Transformada rápida de Fourier, análisis espectral, patrimonio sonoro, cantos muisca, software etnomusicológico, separación de fuentes.

Abstract

This project presents the development of a software for the acoustic analysis of Muisca ancestral songs through the application of the Fast Fourier Transform (FFT). The proposal arises as a response to the need for non-invasive technical tools to explore the sound richness of heritage expressions without altering their symbolic content. The system allows loading and converting audios, separating their vocal and instrumental components with the Demucs model, applying the FFT and visualizing detailed spectrograms from an accessible graphic interface. An incremental methodology was adopted, validating each functional phase in conjunction with the project management. The results obtained include accurate spectrograms, identification of predominant frequencies and differentiated analysis by component, which facilitates the ethnomusicological and pedagogical interpretation of the sound material. The tool was documented through manuals, a scientific article and its publication in a digital repository, guaranteeing its traceability and usefulness as part of a larger research project.

Translated with DeepL.com (free version) Keywords: Fast Fourier Transform, spectral analysis, sound heritage, Muisca chants, ethnomusicological software, source separation.

Introducción

La tradición oral ha sido el medio más adecuado para la transmisión del conocimiento, la cosmovisión y la identidad de los pueblos indígenas, como lo es el caso del pueblo muisca, ubicado en la región del altiplano cundiboyacense, los cantos ancestrales constituyen una profunda manifestación de su memoria colectiva. Estos cantos además de expresar pensamientos ceremoniales o espirituales recogen formas de entender el tiempo, el territorio y la conexión con lo sagrado. Aunque tienen un gran valor simbólico y patrimonial, gran parte de estos registros corren el riesgo de desaparecer puesto que no cuentan con una sistematización técnica, dificultando su estudio y transmisión en contextos educativos o de investigación.

En este contexto, se presenta la tecnología como un aliado que ayuda a la preservación y el análisis de expresiones culturales de forma oral. La creación de herramientas enfocadas en análisis de audio, en especial las basadas en el procesamiento digital de señales permiten una mejor interpretación etnomusical que complementan su estudio. Un método para esto es la Transformada Rápida de Fourier ya que permite descomponer una señal sonora en sus componentes frecuenciales que generan ilustraciones visuales que revelan la estructura interna del sonido, entonces, aplicándolo a cantos tradicionales se genera la posibilidad de una detallada lectura de las modulaciones vocales, ritmos e incluso los matices que conforman el tejido sonoro.

El presente proyecto se enfoca en el diseño, desarrollo e implementación de un software que integre esas funcionalidades analíticas dentro de una herramienta de fácil acceso y manejo centrada en usuarios que no sean necesariamente expertos en programación o en ingeniería de sonido. El sistema permite a quien lo use cargar archivos de audio para separarlos en su componente vocal e instrumental, aplicar la FFT sobre cada pista de forma independiente, visualizar los espectrogramas que generan los

audios cuando ya han sido procesados y exportar todos los resultados provenientes de estos gráficos, todo esto organizado en una interfaz gráfica muy intuitiva para cualquier tipo de usuario.

Durante el desarrollo se estipuló que esta solución fuera accesible para su instalación y para su uso, de tal forma que la interfaz se diseñó para que cualquier tipo de usuario como investigadores o miembros de comunidades pudieran interactuar con el sistema sin previos conocimientos técnicos. Se manejó de esta manera con la intención de que el software no se limite a un entorno académico, más bien que se pueda utilizar en espacios comunitarios o culturales con fines investigativos o de apropiación tecnológica.

Esta herramienta presenta gran valor puesto que no está estipulada únicamente para su funcionalidad técnica, también actúa como puente entre el conocimiento ancestral y los recursos contemporáneos de análisis. La opción de poder visualizar de forma más detallada la estructura de un canto muisca para distinguir si comportamiento frecuencial abre nuevos caminos para la investigación etnomusicológica y, por ende, su educación y la preservación del patrimonio cultural.

Para agregar, el sistema desarrollado tuvo un enfoque que mantuvo la perspectiva ética dirigida a preservar la integridad simbólica de los cantos ancestrales, por esta razón el software no realiza ningún proceso en el que altere o afecte negativamente el contenido original de los audios, está limitado a una exploración acústica controlada y con intención respetuosa buscando que el tratamiento de estos registros se mantenga en su carácter sagrado y cultural evitando su uso inadecuado.

Contextualización Del Problema

El patrimonio cultural del altiplano cundiboyacense constituye una de las expresiones sonoras más significativas con sus cantos ancestrales muisca que se encuentran llenos de simbolismo ya que forman parte de un extenso historial de transmisión oral de conocimientos sobre visiones del mundo, memorias espirituales y formas de relación con la naturaleza, no se trata únicamente de expresiones

musicales, esto abarca diversas fuentes de conocimiento que se han cultivado a lo largo del tiempo y que conectan con la identidad del muisca. Sin embargo, pese a que tiene un gran valor cultural e histórico estos registros han sido trabajados de forma muy escasa para analizarse más allá de su perspectiva ceremonial.

Los cantos que se han logrado recuperar para registrarlos y documentarlos de forma digital no han contado con un método que permita su interpretación acústica de forma detallada más allá de lo cultural. Esto ha provocado que exista un vacío en los procesos de investigación ya que, se cuentan con los audios, pero no existen herramientas que permitan una mayor facilidad en su exploración técnica como lo es la identificación de sus frecuencias dominantes o la separación de elementos vocales e instrumentales. La transformada de Fourier ampliamente utilizada en el entorno de análisis sonoro, ha demostrado ser una técnica eficaz para descomponer la frecuencia, el timbre y la intensidad permitiendo entender la estructura interna de los sonidos complejos Cortés Osorio, J. A., Knott, A. M., & Chaves Osorio, J. A. (2012).

El manejo técnico del sonido suele estar restringido a campos que se especializan que terminan pidiendo conocimientos avanzados en programación o en manejo de señales a procesar, esto representando una dificultad para investigadores o propios miembros de la comunidad que deseen estudiar sus cantos. Es por esta falta de accesibilidad a la tecnología que los cantos terminan como elementos aislados que no cuentan con herramientas de análisis que den una oferta de una propuesta de investigación amplia.

La falta de opciones para el análisis acústico de estos cantos tradicionales que generalmente estas adaptadas a contextos culturales y accesibles para un público no técnico termina evidenciando un problema con relación a el patrimonio sonoro la tecnología. Aunque hay avances en elementos para el

análisis de audio no están enfocados en las expresiones orales de los pueblos originarios y carecen de perspectiva cultural que se adapten a las necesidades de quienes protegen ese legado.

Tal como lo advierte Serra, X. (2011). gran parte de las tecnologías utilizadas en la investigación musical han sido construidas sobre modelos centrados en músicas occidentales, lo cual ha producido metodologías culturalmente sesgadas que no logran representar ni analizar a profundidad las diferentes expresiones musicales del mundo. Esta limitación técnica y epistemológica da lugar a reforzar el diseño de herramientas más inclusivas y funcionales para el estudio de música no hegemónica tal como los cantos ancestrales muisca.

Justificación de la investigación

La conservación del patrimonio cultural enfrenta varios desafíos cuando las expresiones sonoras son transmitidas específicamente de forma verbal como lo son los cantos ancestrales del pueblo muisca, siendo estos los que abarcan siglos de memoria sobre prácticas rituales y formas de interpretación del mundo que son fundamentales para entender la cosmovisión de esta comunidad. No obstante, su preservación se ve comprometida por la escasa disponibilidad de herramientas que permitan analizar para transmitir su estructura cuidando su valor y respeto que buscan mantener, de esta forma los contenidos terminan siendo olvidados perdiendo su valor acústico e investigativo a nivel intercultural.

Esta investigación tiene como fin responder esta necesidad mediante el diseño y desarrollo de un software que permita el análisis acústico implementando la Transformada Rápida de Fourier, una técnica comúnmente utilizada en procesamiento digital de señales que permite descomponer una onda en sus componentes frecuenciales. Siguiendo este enfoque el sistema permite mostrar por medio de gráficos espectrales la visualización de las estructuras del sonido, aquello que a simple oído no se puede percibir con claridad.

Aplicado a los cantos muisca, este método brinda la posibilidad de observar características como los timbres o los ritmos y también la identificación de patrones que resultan relevantes para un estudio etnomusicológico y educativo. El software también incluye el modelo Demucs que permite hacer la separación vocal e instrumental de los audios para hacer un mejor análisis y una interfaz gráfica intuitiva para los usuarios que no cuentan con conocimientos avanzados en programación o en manejo de herramientas para procesamiento de señales.

Viéndolo desde una perspectiva antropológica la música indígena no se debe comprender solo como un fenómeno sonoro o artístico también como una profunda forma de pensamiento y comunicación social. Así como lo plantea Rojas de Perdomo, L. (2005). en muchas comunidades amerindias la música se considera un acto sagrado que transmite historias, saberes, ciclos vitales y principios de organización comunitaria. Siguiendo esta idea a la herramienta se le exige tratar los registros de una manera muy respetuosa que no fragmenten su valor simbólico es por esto por lo que el software se limita únicamente a realizar análisis sin causar modificaciones al contenido original de los cantos.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un software de análisis acústico que utilice la Transformada Rápida de Fourier para procesar y visualizar cantos ancestrales muiscas desde una perspectiva técnica y cultural.

Objetivos Específicos

- Analizar los principios teóricos y tecnológicos que sustentan el uso de la Transformada Rápida de Fourier en el estudio acústico de cantos tradicionales.
- Diseñar un sistema de análisis espectral que permita procesar cantos ancestrales muiscas mediante separación de fuente y visualización frecuencial.
- Documentar el desarrollo, validación y proyección del software en un artículo científico orientado a su impacto en ingeniería, matemáticas y estudios etnomusicológicos.

Alcance De La Investigación

El proyecto tiene como alcance el desarrollo de un software centrado en el análisis de acústico de cantos ancestrales muiscas enfocado en la aplicación de la Transformada Rápida de Fourier como herramienta de visualización espectral. El sistema debe permite cargar cualquier tipo de audio que es convertido de forma automática a formato .wav sin importar su duración o frecuencia, también incluye la función de separar el audio en dos componentes, vocal e instrumental, de esta manera poder aplicar la FFT de forma individual a cada elemento y las otras funcionalidades consisten en mostrar en forma de gráfico espectral los resultados de esta aplicación y permitir exportarlo en formato de imagen, Finalmente, todas estas opciones están previstas a ser estructuradas de forma simple y ordenada en una interfaz gráfica intuitiva separada por diferentes pestañas que controlan cada módulo del sistema de forma que su uso sea fácil y accesible.

El software se orienta principalmente a investigadores, músicos y docentes que busquen estudiar las expresiones sonoras de la comunidad indígena con el fin de documentar su análisis su estudio para contemplar su trasmisión desde una perspectiva técnica. A diferencia de otras herramientas de procesamiento de sonidos de código abierto o comercial existentes, esta propuesta fue pensada para trabajar específicamente con cantos ancestrales, de forma que no altere su contenido evitando dañar su estructura simbólica y cultural. Es por esto por lo que el sistema no debe realizar ningún proceso de clasificación automática o filtrado semántico, se limita únicamente a procesamiento acústico respetando la integridad material de los cantos.

El sistema podrá utilizarse con cualquier formato que clasifique como audio sin depender de registros almacenados previamente en bases de datos, esto significa que se puedan cargar archivos que ya han sido grabados con anterioridad y también aquellos nuevos registros que se hayan generado por los investigadores o comunidades para ser procesados. Aunque, hay que considerar la duración los archivos de audio, el sistema puede lograr hacer el procesamiento sin importar que tan extenso sea, sin embargo, esto puede provocar que el procedimiento se tarde más de lo esperado.

Desde una perspectiva técnica el proyecto se concreta en un prototipo funcional el cual ya permite ejecutar todo el proceso de análisis previsto. Hay que tener en cuenta que su uso está previsto a ser validado en contextos de prueba y bajo acompañamiento directo de la directora del trabajo de grado, por ende, aunque el sistema se encuentre en estado operativo su proyección para entornos reales requiere de más fases que complementen las pruebas con usuarios finales y se contemplen mejoras en el rendimiento de procesamiento.

La investigación no incluye el desarrollo de herramientas de interpretación cultural o similar ni tampoco se pretende reemplazar los métodos tradicionales de análisis etnográfico, por el contrario, se ideó como un recurso que complemente una mayor facilidad de comprensión acústica de los cantos ancestrales, de

la misma manera ampliar las opciones de investigación de estos contenidos, es así que el proyecto se posiciona como una intersección entre la tecnología y la cultura ofreciendo un aporte al estudio del patrimonio sonoro mediante una herramienta digital. Como complemento del proceso de investigación se elabora un artículo científico a publicar en una revista, en el que se documenta el desarrollo técnico del sistema junto a su validación e impacto proyectado al área de ingeniería, matemáticas y cultura incluyendo como estas se complementan con la implementación del programa.

Pregunta De Investigación

¿Cómo desarrollar un software basado en la Transformada Rápida de Fourier para procesar y visualizar cantos ancestrales muiscas?

Marco Referencial

Marco Teórico

De acuerdo con lo explícito, el concepto de sonoridad indígena tiene otro sentido que el de un conjunto de manifestaciones de lo musical, ya que, más bien, se debe entender como un sistema simbólico que mantiene esta interrelación con dimensiones constitutivas: la espiritual, la territorial y la comunitaria. En las culturas indígenas de los Andes, y en la comunidad muisca, no hay un canto o un sonido meramente por el canto o el sonido; el sonido y el canto son, como se ha visto, formas de enlazarse con lo sagrado, de narrar cosmogonías y de poner en práctica la memoria como patrimonio. En otras palabras, desde esta consideración, el sonido no es mera manifestación sensible, sino forma de conocimiento y de relación con el entorno, como una parte del mismo y del cuerpo colectivo.

Esta forma de expresar la sonoridad indígena se encuentra en lo que hacen autores como Ruiz Álvarez, M. (2021). bajo el concepto de "ecosofía sonora", que considera al sonido la forma de escuchar el mundo desde una lógica relacional-espiritual. De acuerdo con esta lógica, los cantos no son cada uno de los acontecimientos musicales que se dan uno tras otro, sino prácticas rituales donde confluyen saberes, memorias, sentimientos y relaciones comunitarias. El canto pasa por la oralidad, puede ser reescrito durante la acción ritual, mantiene un carácter activo, performativo, situado. Por esta razón, el estudio de las prácticas sonoras requiere el uso de herramientas que contemplen tanto su dimensión técnica como su simbólica.

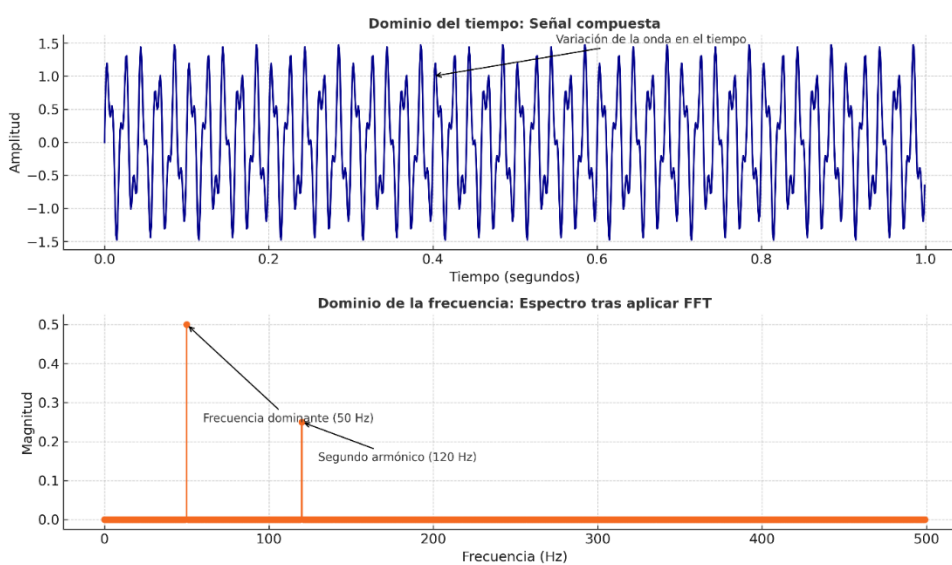
Desde una perspectiva de patrimonio cultural inmaterial, los cantos ancestrales son parte de lo que la UNESCO. (2003). define como expresiones vivas, intergeneracionales. En el caso muisca, los cantos hacia la Madre Tierra, al agua, a los animales o a los astros forman una expresión de la cosmovisión indígena, y en consecuencia, los cantos son parte de la clave del proceso de revitalización identitaria, de la resistencia cultural y de autodeterminación.

A un nivel metodológico, el análisis acústico se plantea como un puente entre el conocimiento ancestral y las herramientas contemporáneas. En este sentido, la Transformada Rápida de Fourier (FFT, por sus siglas en inglés) es la técnica por excelencia del procesamiento digital de señales que sirve para descomponer una señal compleja en sus componentes de frecuencia. Por tanto, esta herramienta matemática transforma una señal representada en el tiempo, es decir, cómo varía su amplitud, en una representación de dicha señal en el dominio de la frecuencia, visualizando qué frecuencias se encuentran presentes y con qué intensidad.

Un ejemplo ilustrativo del proceso es el que se observa en la Figura 1. La señal contenida en el gráfico superior, correspondiente a dos frecuencias dominantes (50 Hz y 120 Hz), tiene una forma, como se observa, que es aparentemente compleja. Sin embargo, al procesar la señal mediante la FFT, se produce un espectro que reconoce claramente las frecuencias como picos en la forma espectral. Esta conversión permite evidenciar armónicos, timbres y otros aspectos acústicos que a simple oído no se aprecian y resulta especialmente útil para la investigación de los cantos tradicionales.

Figura 1

Comparativa de espectrograma original y con FFT aplicada.



Nota. La figura muestra el espectrograma de una señal compuesta en su estado original y la misma gráfica con la variación en que tiene la Transformada Rápida de Fourier aplicada evidenciando las frecuencias dominantes. Fuente: Elaboración propia.

El beneficio más relevante de la FFT es la eficiencia de cálculo y la cantidad de información que proporciona con respecto al estudio del timbre, la modulación y la resonancia de la señal. Aplicada al caso de los cantos muisca, es posible graficar y representar las propiedades acústicas de las expresiones orales muisca, sin alterar ni modificar el contenido simbólico. Por esta razón, se configura como una herramienta respetuosa, rigurosa y que es útil tanto para la documentación patrimonial como para la interpretación etnomusicológica, desde una perspectiva interdisciplinaria.

Autoras como Schachter, R. (2015). y Díaz-Emparanza, M. (2022). han destacado la importancia de estas herramientas en la docencia musical, la documentación del patrimonio o la investigación interdisciplinaria. De forma específica, la FFT ha sido utilizada en estudios que persiguen la preservación de músicas tradicionales a través del análisis estructural de las obras y su digitalización que permiten la creación de bancos de datos donde poder cruzar información cuantitativa y cualitativa de las piezas.

En este sentido, Roads, C. (2001). desarrolla el concepto de "microsound" (o microsonido) haciendo hincapié sobre la necesidad de contar con herramientas que permitan acceder a escalas temporales más breves del sonido, esas que escapan de la percepción inmediata pero que estructuran fenómenos complejos como puede ser el timbre o la textura. Desde este sentido, la FFT es una herramienta que, implementada con fines culturales, no persigue sustituir la escucha tradicional ni imponer una lógica tecnocrática sobre las músicas indígenas, sino ampliar el espectro de análisis posible y potenciar nuevas formas de diálogo entre saberes.

Por consiguiente, el presente proyecto se halla inmerso en un enfoque que hace una lectura respetuosa de la riqueza de las expresiones sonoras muisca mediante recursos digitales, tal y como son

las herramientas de la FFT que se aplicarán de forma separada para los componentes vocales e instrumentales del canto, con la finalidad de ver una suerte de partitura acústica interna, aunque sin tener en cuenta su carga simbólica, ritual y social. Este enfoque interdisciplinar que conecta antropología, ingeniería y etnomusicología abre nuevas posibilidades de estudio, documentación y volver a darle un uso social a los patrimonios sonoros ancestrales.

Antecedentes

El valor de la música indígena como práctica viva de memoria, identidad y resistencia cultural ha sido considerado y abordado por diversos estudios desde diferentes disciplinas. Para el pueblo muisca, los cantos ancestrales suponen no solo una práctica ritual y espiritual, sino que también son parte del patrimonio inmaterial resignificado ante los cambios sociales y territoriales. Los antecedentes que se han rastreado se articulan en torno a un primer grupo que tiene que ver con la comunicación sonora, la pedagogía intercultural y el paisaje sonoro. Por una parte, el trabajo de Cortés Unda, S. (2023). a partir de una serie de pódcast permite dar cuenta de la experiencia del Cabildo Muisca de Suba en la conservación de sus prácticas musicales, en la que cobra relevancia la experiencia con las sonoridades muiscas en su relación con el territorio, haciendo de la música un paso entre generaciones y un sistema de resistencia frente al borrado institucionalmente organizado. Complementariamente, el trabajo de Castrillón Galindo, E. M. (2016). propone el paisaje sonoro como una estrategia pedagógica para crear conciencia del patrimonio ancestral que se ha dado en el municipio de Soacha a partir de registros acústicos y de narración visual. Éste denuncia la pérdida de elementos identitarios otorgando especial énfasis al valor educativo de sonido como medio de expresión.

Los informes de Duran, D., Talero, C., & Mendoza, A. (2022). elaborados por el colectivo Subana Chibtysqua, junto con el IDARTES, resaltan dentro del plano etnomusicológico cómo las prácticas musicales muiscas en Suba son un medio que respalda la espiritualidad, el entorno natural y la identidad

cultural; y se refieren a la construcción de las prácticas para reposicionar una parte de su historia con paisanos, cuya vivencia fue contada como parte de procesos de revitalización cultural donde la música tiene un rol estructurante. En la misma línea, los trabajos de investigación como el de Aguilar Garavito, L. (2018). han relacionado la tradición musical, en cuanto a su reescritura desde composiciones contemporáneas, para señalar específicamente la relación que establecen los cantos de antaño con estructuras sonoras como la escala pentatónica, que se encuentra consagrada en una de las formas dedicadas a seres míticos como Mama Luka.

De la misma manera, aparecen antecedentes que alcanzan a vislumbrar la problemática, pero en la vertiente de la integración extraída de la tríada arte, ciencia y tecnología. Un estudio de Pareyón, G. (2023). reflexiona sobre la música desde el punto de vista de la intersección de la teoría de números y del análisis armónico para proponer modelos geométricos y topológicos de fenómenos tonales complejos al considerar estructuras musicales como sistemas autoorganizados que pueden quedar representadas por una lógica matemática que no les quita su dimensión expresiva.

En materia de antecedentes técnicos, diversas investigaciones han validado la efectividad de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) como técnica para el análisis espectral de los sonidos musicales. Por ejemplo, trabajos como los de Rodríguez, J. C. (2017). Stoppa, M., & Teixeira, A. C. S. (2015). y Jaramillo, D., & Chuquimarca, L. (2022). mostraron la validez de la técnica como forma de establecer fundamentales, armónicos y estructuras tímbricas en notas aisladas y en acordes musicales complejos; todas ellas explicitan que la FFT puede ser utilizada para descomponer señales en su dominio de frecuencia con bajo coste computacional y con alta exactitud, siendo una herramienta ideal para la investigación digital de las expresiones musicales. Por último, se debe tener en cuenta cómo la FFT ha sido utilizada en la reducción de ruido, en el análisis de las espectroscopías en tiempo real y en la descripción de las señales acústicas también en ambientes no controlados.

Es importante aclarar que especialmente la posibilidad de la utilización de un software como FFT MusEV o programas como Matlab, Octave y Python con librerías como NumPy, SciPy y LibROSA han permitido acceder a estas herramientas en proyectos de formación básica y estudios especializados. Hay que comentar que estudios como los desarrollados en la Universidad Nacional de Córdoba muestran el uso de la FFT como una base técnica a partir de la cual se pueden construir composiciones musicales contemporáneas a partir de elementos folklóricos, sin llegar a perder su identidad cultural.

Un ejemplo es el trabajo de Stoppa, M., & Teixeira, A. C. S. (2015). que aplica la FFT para la identificación de frecuencias fundamentales y de los armónicos de notas y acordes musicales, utilizando grabaciones de flauta dulce y de teclado, y muestra que incluso en condiciones de no control se sigue pudiendo realizar un análisis acústico de calidad, y para hacer accesibles estas posibilidades para la investigación pedagógica y musical. En la misma línea, Jaramillo, D., & Chuquimarca, L. (2022). describen el alcance de la DFT y la forma eficaz de su implementación a través de la FFT para poder representar el contenido espectral de las señales digitales y, por lo tanto, la aplicabilidad en un contexto de tratamiento avanzado de los sonidos.

Otras propuestas, a su vez, han buscado el nexo entre la música, la ciencia y la percepción auditiva como el de Pareyón, G. (2023). quien propone que la música puede ser un metalenguaje inter-aglutinante entre los fenómenos físicos; las estructuras numéricas; y la construcción simbólica. Esta mirada a la musicalidad permite comprender la musicidad como fenómeno multidimensional, donde el análisis espectral además permite obtener datos técnicos y a la vez comprender la organización interna de los sonidos en clave integral.

Con todo esto en mente, se hace evidente que, si bien es cierto que se han dado diversas aproximaciones a las músicas indígenas muiscas desde diversas dimensiones como la social, la pedagógica o la performativa, también lo es que persiste un vacío en las herramientas técnicas que nos

permitan realizar un análisis no invasivo y respetuoso de la estructura acústica de los cantos. En este sentido el presente proyecto se coloca como una propuesta innovadora que intenta dar continuidad a estas aproximaciones a través de la visualización espectral que devuelve los componentes vocales e instrumentales mediante la Transformada Rápida de Fourier. Por lo tanto, el presente proyecto ofrece una herramienta tecnológica para la investigación y la documentación del patrimonio sonoro, sin descontextualizarlo, ni disgregarlo de su sentido simbólico y comunitario.

Marco conceptual

Música Ancestral

Hace referencia a las expresiones musicales originadas en contextos tradicionales de comunidades indígenas o rurales, transmitidas oralmente de generación en generación. Estas músicas cumplen funciones espirituales, ceremoniales, sociales o educativas, y suelen estar asociadas a cosmovisiones propias que integran lo humano, lo natural y lo sagrado. La música ancestral se caracteriza por su uso de instrumentos autóctonos, escalas no occidentales y estructuras que responden a contextos culturales específicos, lo que la diferencia de las formas musicales académicas o comerciales.

Cosmovisión Sonora

Es la forma en que una cultura concibe y experimenta el mundo a través del sonido. En los pueblos originarios, el sonido no solo se percibe como fenómeno físico, sino como expresión de vida, energía y conexión espiritual con la naturaleza. Esta cosmovisión implica una escucha activa del entorno y reconoce que los sonidos, cantos y silencios tienen un papel ritual, simbólico y comunicativo dentro de la comunidad.

Interculturalidad

La interculturalidad se entiende como la relación de igualdad, de respeto y de horizontalidad entre diversas culturas, es decir, considera la diferencia como un valor y promueve el diálogo entre saberes. Este enfoque intenta salir de posturas asimilacionistas o coloniales y propone algo mucho más potente, la convivencia de diversas maneras de conocer y de expresarse. En los proyectos que abordan la vinculación de la tecnología con el patrimonio indígena como el de este trabajo, la interculturalidad significa que hay que crear herramientas tecnológicas que no especifiquen lógicas de imposición, sino que devengan de los valores, maneras de comunicación y contextos de las comunidades. Desde esta perspectiva, el uso de tecnologías como la FFT no se debe entender como una forma de "objetivar", por ejemplo, o de reducir la música ancestral, sino que se debe entender como un puente de estudio, de documentación y de potenciación, al servicio de sus propios procesos de revitalización.

Patrimonio Sonoro

La sonoridad de un patrimonio es el conjunto de manifestaciones acústicas que permiten a una comunidad identificarse. Los patrimonios sonoros no son únicamente composiciones musicales tradicionales; incluyen también voces y voces entonadas, así como acústicas ambientales, cantos ceremoniales indígenas y cualquiera manifestación sonora con significado cultural, simbólico e histórico. Para comprender un sonido como patrimonio sonoro no basta con saber que es un fenómeno físico obtenido mediante algún sistema de grabación o de transmisión. Hay que saber que se trata de un portador de sentido, de un cometido social, de una historia. La UNESCO junto a otras instituciones culturales han señalado la importancia de grabar, salvaguardar y proteger esta clase de patrimonio, y más allá, en el caso que el patrimonio sonoro se encuentre amenazado de extinción. Cuando el patrimonio sonoro proviene del contexto indígena, su estudio tiene lugar en relación con el territorio, con la lengua, con la espiritualidad, y esto pasa por contar con metodologías que sean sensatas a su inmaterialidad y en comunidad.

Canto Ancestral

Los cantos ancestrales constituyen una forma de expresión vocal transmitida oralmente a través de las generaciones en las comunidades indígenas. Los cantos suelen estar alejados de la oralidad y están cargados de significado, espiritual, histórico y simbólico, por eso son interpretadas en contextos y situaciones ceremoniales, rituales o, incluso, en situaciones cotidianas, ya que están vinculados a la cosmovisión y a las prácticas socioculturales que corresponden a cada pueblo.

En relación con el pueblo muisca, los cantos no solo cumplen la función estética o el carácter comunicativo, sino que están en la línea de vehículos de conocimiento, de canal de memoria, de la naturaleza cíclica de vida de los diferentes tiempos y de la posibilidad de conectar con los espíritus de los ancestros. La riqueza melódica, rítmica, tímbrica y de connotaciones culturales, los hace parte del patrimonio inmaterial, cuya preservación exige un mecanismo de transmisión y de cuidado, amparados por sus formas de interpretación de signos y símbolos.

Análisis Espectral

El análisis espectral es el proceso mediante el cual se estudian las características de una señal sonora en el dominio de la frecuencia. A través de este procedimiento, se identifican las frecuencias presentes en una señal, su intensidad relativa, la disposición de armónicos y otros atributos que permiten caracterizar su comportamiento acústico. Es una herramienta clave en la ingeniería de audio, la acústica musical y la ciencia del sonido, pues posibilita la comparación objetiva entre diferentes señales y la detección de patrones específicos. En el caso de los cantos ancestrales, el análisis espectral ofrece una forma de documentar y comprender sus propiedades estructurales sin depender exclusivamente de la transcripción musical convencional, la cual puede no ser adecuada para tradiciones orales no occidentales.

Transformada Rápida de Fourier

La Transformada Rápida de Fourier (FFT, por sus siglas en inglés) es un algoritmo computacional que permite transformar una señal desde el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. En términos sencillos, esta herramienta descompone una señal compleja en una serie de ondas senoidales de distintas frecuencias y amplitudes, facilitando el análisis detallado de su contenido espectral. La FFT es ampliamente utilizada en campos como la ingeniería, la acústica, la música digital y el procesamiento de señales, debido a su eficiencia y precisión. Su relevancia en el análisis de cantos radica en que permite identificar las frecuencias fundamentales y los armónicos que conforman una señal sonora, lo que proporciona información valiosa sobre el timbre, la estructura tonal y la dinámica de la interpretación. Al ser una técnica no invasiva, resulta adecuada para el estudio de materiales sensibles como registros vocales patrimoniales.

Espectrograma

Un espectrograma es la forma gráfica de representar en tres dimensiones el contenido espectral de una señal acústica de la que se pueden analizar: el tiempo sobre el eje de abscisas (eje X) y las frecuencias sobre el eje de ordenadas (eje Y); siendo la intensidad de cada componente espectral representada por una escala de colores o de niveles de luminosidad de la imagen. Se convierte, en consecuencia, en una herramienta esencial del análisis acústico permitiendo ver, con más claridad, la distribución armónica, la presencia de ruidos, las evoluciones modulatorias tonales, características tímbricas de la señal en sí y todas las diversas características correspondientes al análisis de la forma de las señales de orden. En el campo, por ejemplo, del análisis de los cantos ancestrales, el espectrograma sirve para documentar e informar ciertos patrones melódicos y rítmicos que no son, precisamente, oídos, y, en consecuencia, para llevar a cabo una documentación respetuosa del material sonoro en cuestión.

Procesamiento Digital De Señales

Es el conjunto de técnicas y herramientas que permiten manipular señales sonoras mediante algoritmos computacionales. Incluye operaciones como filtrado, análisis espectral, compresión, detección de patrones, síntesis o transformación de señales en tiempo real. En el ámbito musical y patrimonial, el procesamiento digital de señales permite mejorar la calidad del audio, extraer información relevante de las grabaciones y generar representaciones gráficas que facilitan su estudio e interpretación.

Separación De Fuentes De Audio

La separación de fuentes es una de las técnicas de procesamiento digital de señales, que permite la separación de un archivo de audio en sus diferentes componentes sonoros, de manera que, en el caso de las grabaciones musicales, la separación de fuentes permite la separación de la voz principal y de los acompañamientos instrumentales. Esta técnica se fundamenta en algoritmos de aprendizaje automático y de análisis espectral que estudian estos patrones distintivos en cada tipo de señal. Este tipo de técnica podría aplicarse en la interpretación de elementos de análisis de los cantos patrimoniales, en donde se pueden separar de manera diferenciada la parte vocal la cual suele portar el contenido simbólico los fondos sonoros, sin poder alterar la grabación original. Esta capacidad de la separación de fuentes para poder separar componentes del audio resulta fundamental para investigaciones del tipo lingüístico, etnomusicológico y acústico.

Software de Análisis Musical

Hace referencia a las herramientas digitales diseñadas para visualizar, procesar o estudiar aspectos estructurales de obras musicales. Estos programas pueden incluir funciones como la visualización de espectros, generación de espectrogramas, extracción de información rítmica o melódica, análisis armónico y edición de audio. En investigaciones que cruzan música y tecnología, el software de

análisis musical se convierte en un recurso clave para explorar el contenido acústico de piezas sonoras desde una perspectiva técnica, educativa o patrimonial.

Diseño Metodológico

Enfoque Metodológico

El proyecto se enmarcó en una investigación aplicada ya que se orienta en el desarrollo de una solución tecnológica enfocada para el análisis acústico de cantos ancestrales muiscas mediante el procesamiento de señales implementando la transformada rápida de Fourier. El propósito no fue la exploración o descripción de un fenómeno, su orientación fue la de implementar una herramienta que respondiera la necesidad encontrada desde el ámbito cultural y académico con el fin de facilitar el estudio de estos cantos tradicionales por medio de la tecnología computacional.

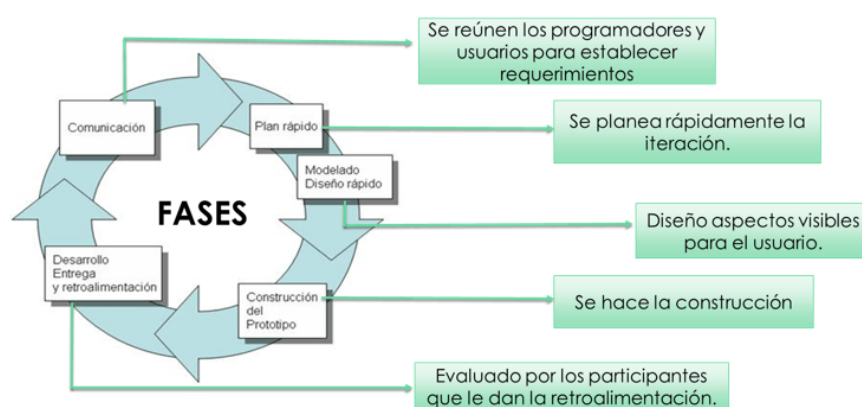
El desarrollo del software se compone de diferentes funcionalidades que se dividen en diferentes módulos, por lo tanto, se implementó el enfoque metodológico de tipo incremental siendo el más adecuado para la realización de cada componente debido a que se encuentra enfocado a la construcción del sistema por etapas funcionales. La realización por fases permite el ajuste y validación de cada una antes de proceder con la siguiente, de esta forma se mantiene un control más adecuado del proyecto.

La metodología incremental es un modelo de desarrollo de software que se basa en construir el sistema por etapas sucesivas conocidas como incrementos. Cada incremento adiciona una parte funcional del sistema que se desarrolla de forma completa desde el análisis hasta su implementación y respectiva prueba. Este modelo lo diferencia de otros tradicionales ya que permite obtener versiones parciales del software desde sus etapas iniciales de desarrollo lo que facilita la evaluación, mejora y validación de forma constante.

La Figura 2 ilustra de forma general el funcionamiento de este modelo en forma de un ciclo iterativo en el que se identifican diferentes fases clave como la comunicación con el usuario, la planificación rápida, el diseño enfocado en la experiencia, la construcción del prototipo y su posterior evaluación y retroalimentación, destacando como la mejora continua a partir de la activa revisión del sistema tiene tanta importancia.

Figura 2

Fases de la metodología incremental.

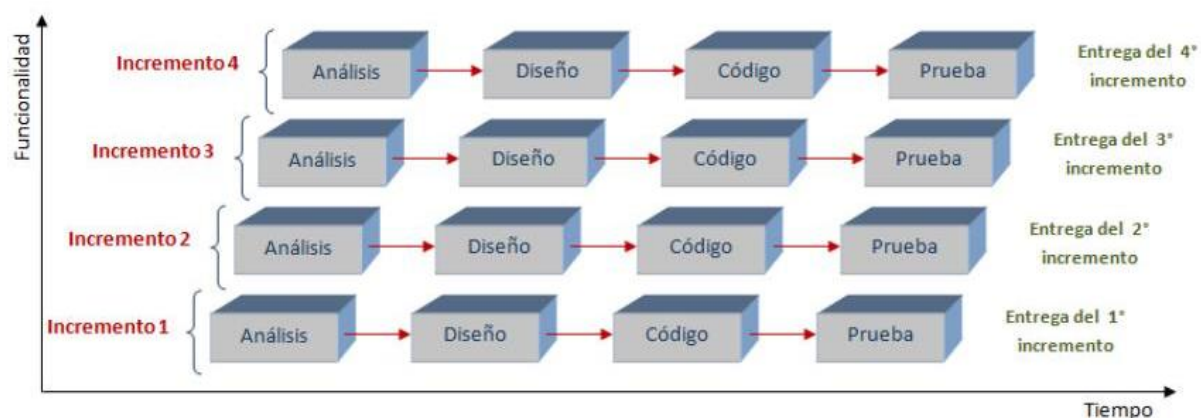


Nota. La figura muestra cada fase de la metodología incremental haciendo una breve descripción de cada una siguiendo un ciclo organizado. Fuente: Comparasoftware. (2021).

De forma complementaria la Figura 3 presenta la estructura del modelo incremental de manera más formal en la cual, cada incremento repite cada actividad de forma completa siendo el análisis, diseño, codificación y prueba. De esta forma el sistema puede crecer funcionalmente en cada fase mientras garantiza que cada entrega este correctamente ejecutada y valida antes de avanzar con lo demás.

Figura 3

Esquema del modelo incremental.



Nota. La figura muestra la estructuración de la metodología incremental por medio de la división de sus incrementos y sus fases individuales. Fuente: mwebs. (s.f.).

La estructura de desarrollo para el trabajo se organizó con entregas quincenales en las que se agregaba una diferente funcionalidad del sistema. Al finalizar cada módulo se hizo una revisión acompañada de la directora del proyecto siendo quien proporcionaba la retroalimentación inmediata acerca del funcionamiento e implementación junto a las sugerencias de posibles mejoras o cambios a realizar, de esta forma, manteniendo un ritmo de avance constante en el que se garantiza la validación de cada iteración y una comunicación efectiva durante todo el proceso.

Estrategia De Desarrollo

La modular naturaleza del software permitió organizar la realización del trabajo bajo cinco incrementos, cada uno enfocado en la implementación de una funcionalidad concreta. Estos incrementos tuvieron una duración promedio de 2 semanas, periodo en el cual se analizaba las especificaciones, se diseñaba la estructura, se desarrollaba y finalmente, se ejecutaban las pruebas de cada módulo para hacer la retroalimentación y posterior validación de cada entrega funcional.

Cada incremento comenzaba con una fase de análisis en la que se definían los requerimientos y características específicas que cada funcionalidad debía cumplir. En esta etapa se revisaban los objetivos del módulo y como este tenía relación con el resto del sistema con el fin de delimitar los requisitos técnicos y operativos necesarios para poder implementarlo.

Teniendo estructurado el análisis se procedía con el diseño de la funcionalidad que se estaba ideando, esta fase implicaba definir la lógica interna del componente, sus entradas y salidas, así como su correlación con los otros módulos del sistema. Se tenían que trazar las funciones principales que el elemento debía realizar acorde a sus especificaciones para ser programadas, de igual forma, la evaluación de opciones que permitieran organizar el desarrollo para asegurar su limpia organización y fácil integración. Además, desde este punto ya se podía ir planteando una base para la realización de la parte visual, el como se vería estos componentes cuando ya estuvieran funcionales y listos para ser estructurados en la interfaz gráfica.

Para la fase de desarrollo se procedía con la implementación del código que daba origen a cada funcionalidad planeada, siendo en esta etapa donde se comprendía la programación de cada proceso definido, la integración de las diferentes librerías que correspondían a los componentes y la adaptación del módulo dentro del sistema para que fuera congruente dentro de la arquitectura del software. Esta fase era desarrollada únicamente por los estudiantes de forma colaborativa en un mismo espacio de trabajo o por medio de reuniones de manera remota, asegurando que cada componente cumpliera con los requisitos establecidos y se implementara de manera adecuada en la estructura del sistema.

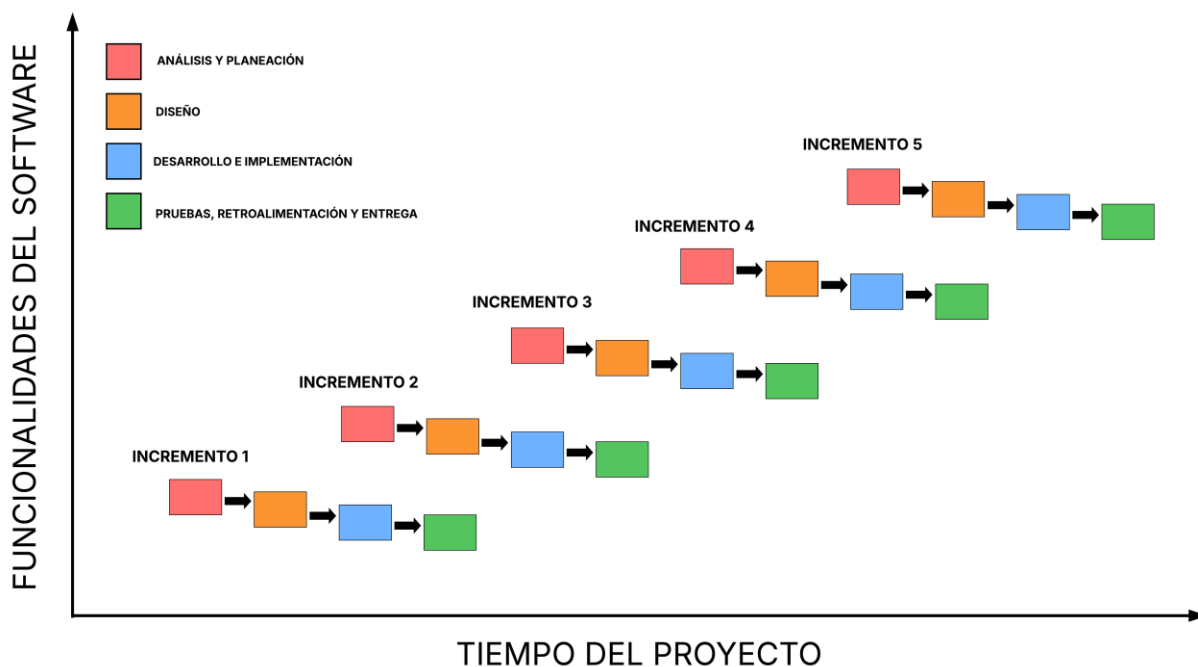
Completado el desarrollo del módulo se procedía a la ejecución de las pruebas finales las cuales tenían como objetivo verificar que funcionara de forma apropiada sin errores y conforme a los requerimientos y características iniciales. La validación de cada uno se realizaba en conjunto con la directora del proyecto, por medio de reuniones donde analizaba el comportamiento del componente y

proporcionaba sugerencias o ajustes. Solo cuando se terminara con la realización de esos ajustes permitía dar por terminado el módulo y, posteriormente, avanzar con la entrega del siguiente incremento.

Este enfoque permitió mantener un control sobre el avance del proyecto ya que cada incremento implementaba una funcionalidad siguiendo una secuencia clara de etapas: análisis, diseño, desarrollo y finalmente pruebas junto a las entregas, garantizando de esta forma que cada proceso terminara listo para integrarlo al sistema. La figura 4 muestra de forma visual cómo se estructuraron los cinco incrementos del desarrollo, evidenciando las fases recorridas en cada una y su progresión en el tiempo del proyecto.

Figura 4

Estructura del modelo incremental.



Nota. La figura ilustra la secuencia de actividades en cada uno de los incrementos del proyecto siguiendo el enfoque metodológico incremental. Fuente: Elaboración propia.

Gestión De Tareas y Herramientas

Dado que se implementó un enfoque incremental y siendo modular la estructura del software fue necesario utilizar un proceso de organización para planificar y validar cada uno de los incrementos funcionales del sistema. Además, como el proyecto se estructuró en ciclos de 2 semanas resultó muy útil contar con una herramienta visual para tener un control sobre el cumplimiento de las actividades en sus respectivas etapas.

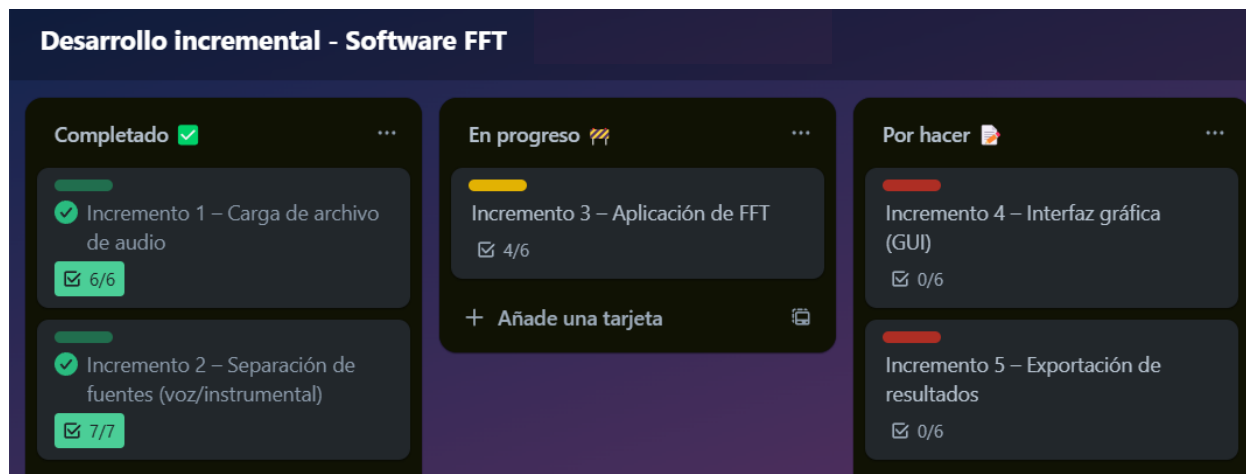
Siguiendo este proceso se utilizó Trello ya que es una herramienta digital basada en tablero tipo Kanban el cual permite organizar tareas de una forma sencilla en listas dependiendo su estado. Para este caso, se crearon 3 listas principales: Por hacer, abarca todas las actividades que aún no se han comenzado a realizar; En progreso, contiene las asignaciones que se estaban realizando y que estaban en proceso de desarrollo; Completado, siendo en la que están los deberes ya realizados, aquellos que ya se desarrollaron y que tuvieron su respectiva validación.

A medida que progresaba el proyecto se actualizaba la tablera moviendo las tarjetas con sus actividades, de esta forma manteniendo un registro visual de los avances que facilitaron la retroalimentación al final de cada incremento. De igual manera, esto agilizaba el proceso de retroalimentación que se realizaban en las reuniones con la directora en las cuales si surgían observaciones de estas revisiones se iban agregando como nuevas tareas dentro mismo tablero.

En la figura 5 se puede evidenciar el tablero de Trello con las diferentes listas de los incrementos y actividades cuando se encontraba el proceso en una fase intermedia en la que ya se habían realizado algunos módulos y el que se encontraba en ejecución. Por otra parte, la figura 6 muestra el mismo tablero en otra en fase del desarrollo, específicamente cuando se habían completado las actividades de cada incremento, es decir, ya se habían desarrollado todos los módulos y validados dentro del sistema.

Figura 5

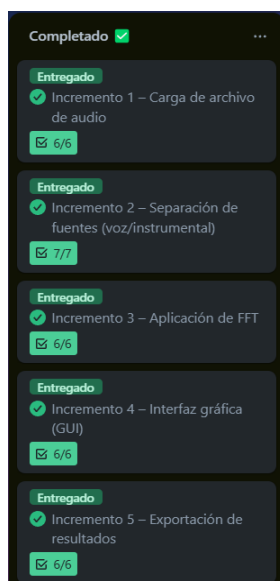
Organización de los incrementos a mitad de proceso en Trello.



Nota. La figura muestra el tablero en Trello con los incrementos estructurados y organizados cuando el proceso se encontraba en su etapa intermedia. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6

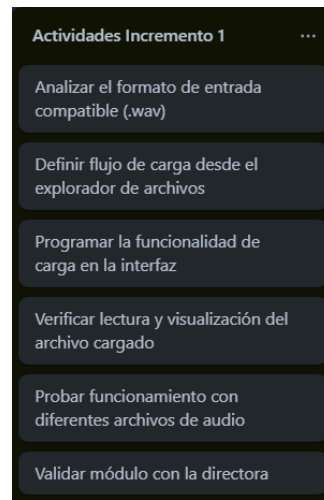
Estructura de los incrementos completados en Trello.



Nota. La figura muestra los incrementos organizados en el tablero de Trello cuando todo el proceso se había finalizado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 7

Actividades del incremento 1.

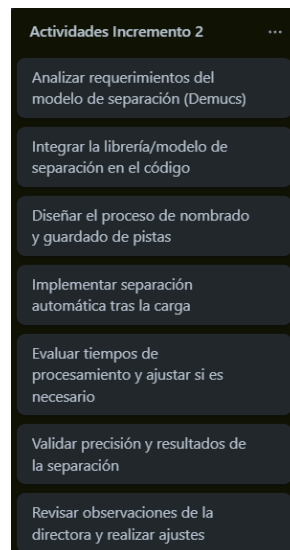


Nota. La figura muestra las actividades del incremento número 1 dentro del tablero de Trello Fuente:

Elaboración propia.

Figura 8

Actividades del incremento 2.

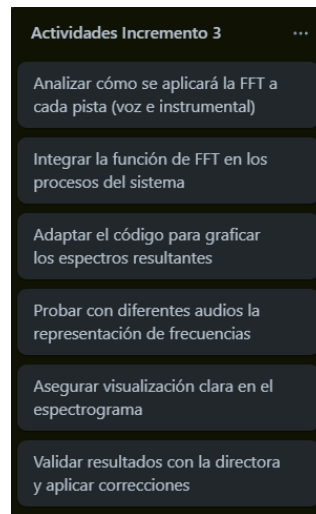


Nota. La figura muestra las actividades del incremento número 2 dentro del tablero de Trello Fuente:

Elaboración propia.

Figura 9

Actividades del incremento 3.

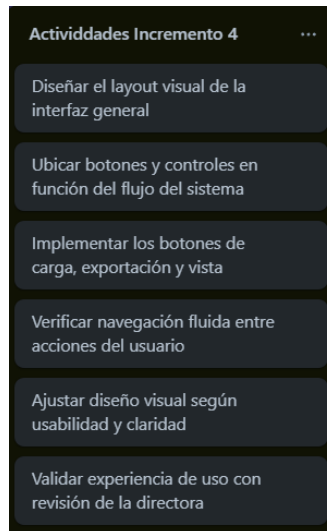


Nota. La figura muestra las actividades del incremento número 3 dentro del tablero de Trello Fuente:

Elaboración propia.

Figura 10

Actividades del incremento 4.

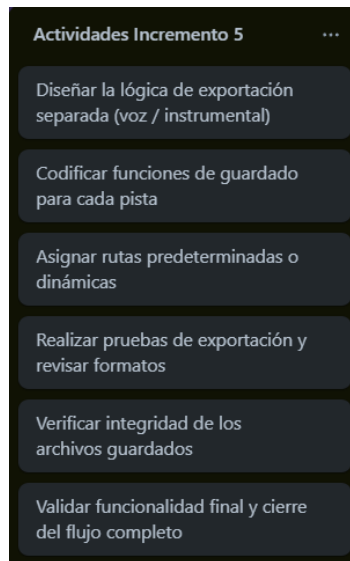


Nota. La figura muestra las actividades del incremento número 4 dentro del tablero de Trello Fuente:

Elaboración propia.

Figura 11

Actividades del incremento 5.



Nota. La figura muestra las actividades del incremento número 5 dentro del tablero de Trello Fuente:

Elaboración propia.

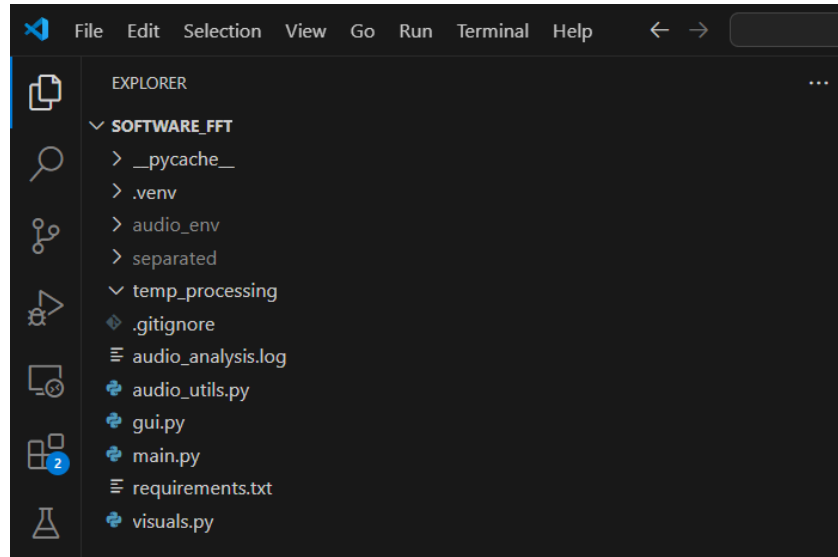
Desarrollo Del Proyecto

El desarrollo del software se llevó a cabo utilizando el editor de texto Visual Studio Code como entorno de programación debido a la flexibilidad y soporte que ofrece para el manejo de diferentes lenguajes de programación incluyendo la compatibilidad con entornos virtuales. La organización con esta herramienta es más fácil ya que ofrece una interfaz muy cómoda para administrar los archivos y carpetas.

Dentro de este entorno se habilitó un entorno virtual con el fin de realizar la instalación de librerías únicamente dentro de él para evitar conflictos con la configuración del sistema a la hora de hacer la instalación las librerías que se implementan en el sistema. El proyecto fue organizado en una carpeta principal denominada `Software_FFT` el cual contiene archivos fuente como `main.py` quien es el encargado de ejecutar el programa actuando como archivo de entrada principal, `gui.py` que actúa como el controlador de la interfaz gráfica, `audio_utils.py` que maneja las funciones que procesan el audio y por último `visuals.py` encargado de utilizar funcionalidades de visualización. Adicional a eso se crearon carpetas auxiliares como `separated` y `temp_processing` destinadas a almacenar resultados de análisis y archivos temporales que se generan durante la ejecución del programa como se puede observar en la figura 12.

Figura 12

Directorio de archivos del software.



Nota. La figura muestra las carpetas y archivos creados en el directorio principal del software dentro del editor de texto Visual Studio Code. Fuente: Elaboración propia.

El lenguaje de programación utilizado fue Python siendo el más versátil y simple incluyendo que es el más adecuado para este tipo de software ya que ofrece diversas librerías para el manejo de audio. Procediendo con las librerías se instalaron aquellas todas las necesarias para el software que se encuentran especificadas en el archivo requeriment.txt que se observa en la Figura 12, aunque destacando las más fundamentales como librosa para el análisis de señales de audio, pydub para la manipulación de archivos de audio, matplotlib utilizada para la visualización gráfica de espectrogramas y por último numpy y scipy como soporte matemático para la aplicación de la FFT.

La arquitectura del software se estructuró de manera modular dividiendo el código en cuatro archivos principales: main.py, audio_utils.py, visuals.py y gui.py. Se realizó de esta forma siendo muy adecuada para mantener una clara organización que facilitara el desarrollo incremental incluyendo el mantenimiento del sistema y la reutilización de componentes.

Lo primero en desarrollarse fue el archivo main.py o dicho de otra forma el archivo de ejecución ya que su única función es inicializar la ventana principal que muestra toda la parte de interfaz creada en

el archivo `gui.py`, siendo este el segundo en ser creado puesto que contiene toda la lógica de la interfaz gráfica y estructura de la disposición de los botones, menús y elementos visuales. También actúa como un puente que conecta al usuario con las funcionalidades.

Procediendo con el archivo `audio_utils.py` este se encarga todo el procesamiento de audio dado que contiene la funciones para cargar archivos, separar el contenido en pistas vocal e instrumental y lo principal, aplicar la Transformada Rápida de Fourier. El cuarto archivo `visuals.py` contiene los componentes para visualizar los resultados mediante espectrogramas y gráficos de frecuencia. Todas estas funcionalidades están conectadas con `gui.py` ya que llama de los demás archivos cada función que el usuario seleccione en la interfaz gráfica.

La primera funcionalidad desarrollada fue la de carga y lectura del archivo de audio siendo la que ejerce como punto de partida de todo el procesamiento ya que a partir del archivo carga se habilitan las demás operaciones. Para gestionar esta opción se diseñó una pestaña en la interfaz gráfica llamada Audio que muestra primeramente un botón para cargar el archivo que al ser usado abre automáticamente el explorador de archivos par que el usuario seleccione el elemento. Además, se incluyen otros botones encargados de manejar el audio en tiempo real para reproducir, pausar, reanudar o detener la reproducción y también un mensaje de espera mientras se carga el audio, como se puede observar en la Figura 13.

Figura 13

Módulo de audio en la interfaz gráfica del software.

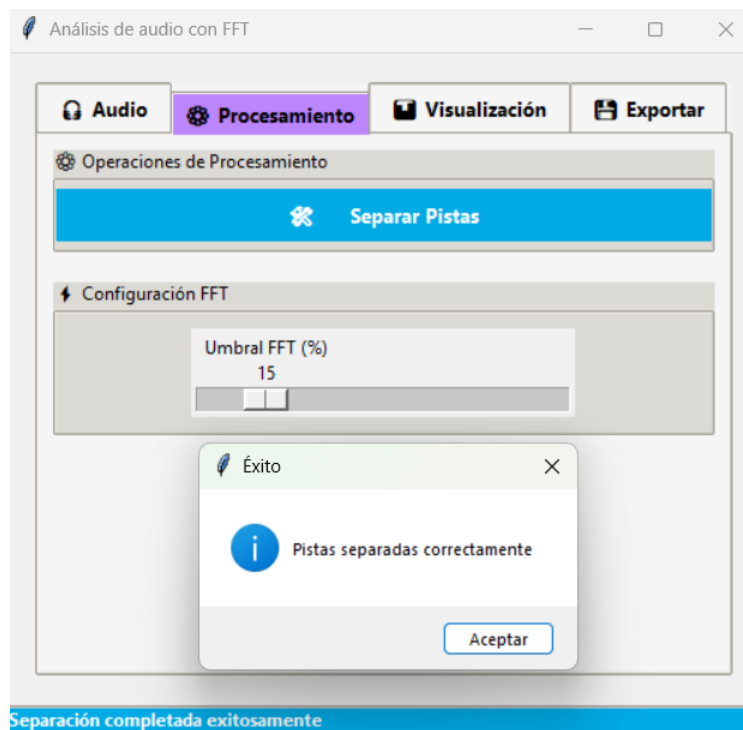


Nota. La figura muestra el módulo de cargado de audio acompañado de las botones que administran los archivos de audio dentro de la navegación de la interfaz gráfica del programa en ejecución. Fuente: Elaboración propia.

Una vez cargado el archivo el sistema permite ejecutar la siguiente operación de separación de audio en 2 componentes principales, la voz y el instrumental. Para llevar a cabo este proceso se implementó el modelo de Demucs que es una arquitectura basada en redes neuronales enfocada en separación de fuentes musicales. En la Figura 14 se muestra que se agregó otra pestaña llamada Procesamiento donde se puede encontrar el botón Separar Pistas con el que se hace la división del audio al usarlo incluyendo un mensaje de confirmación cuando finaliza su proceso. De igual forma, en este mismo apartado se adicionó un slider para ajustar el porcentaje del umbral que se desee aplicar de FFT cuando se aplique al audio.

Figura 14

Módulo de procesamiento en la interfaz gráfica del software.

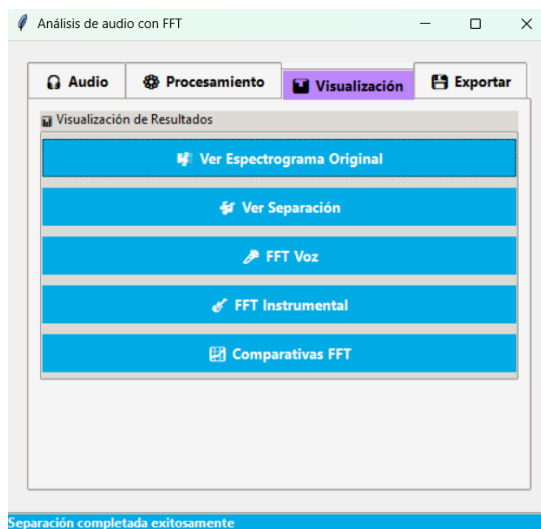


Nota. La figura muestra el módulo de procesamiento donde se evidencia el botón asignado para hacer la separación de pistas y el slider encargado de asignar el umbral de FFT que se aplica medido en porcentaje.

Con el proceso de separación y de ajuste del umbral de FFT indicado se procede a la mostrar los resultados, para ello se creó una pestaña llamada Visualización que se muestra en la Figura 15, la cual contiene diferentes botones que permiten visualizar los espectrogramas en diferentes fases y para cada componente sonoro.

Figura 15

Módulo de visualización en la interfaz gráfica del software.



Nota. La figura muestra el módulo de visualización y los botones que permiten mostrar el gráfico original, separación, voz, instrumental y de comparación entre los anteriores con FFT ya aplicada. Fuente:

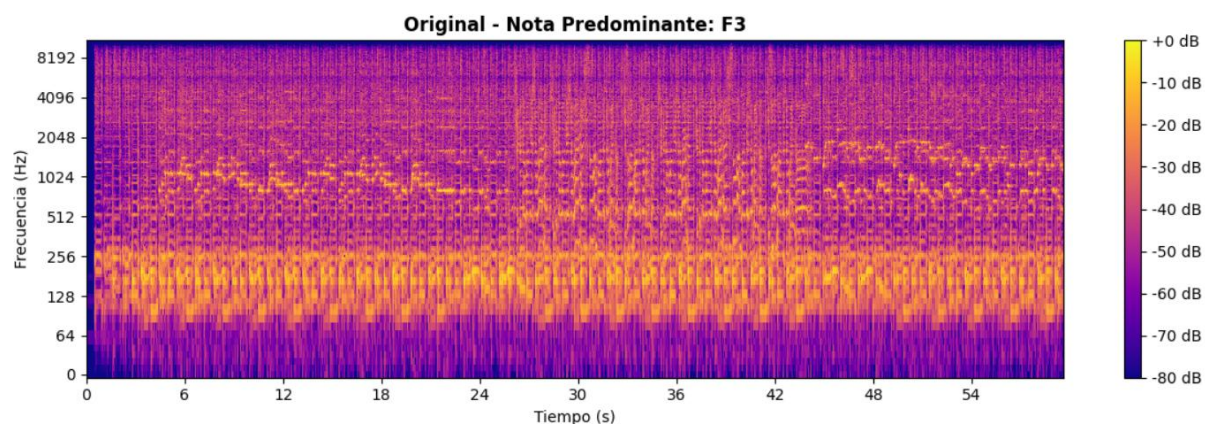
Elaboración propia.

La primera opción agregada es la de visualizar el gráfico espectral del audio original ilustrada en la Figura 16, es decir, del archivo sin ser modificado por la separación o por la aplicación de FFT. Lo siguiente adicionado fue la visualización de las gráficas individuales de las pistas separadas como se muestra en la Figura 17. Esto fue para los audios que aún no tienen aplicada la Transformada Rápida de Fourier, de hecho, para este punto aún se ha implementado su aplicación ni para el audio original ni para los componentes separados ya que es cuando se hace la visualización de los gráficos que la implementación de FFT ocurre.

Las últimas opciones añadidas son las que permiten mostrar los espectrogramas de cada elemento sonoro tanto vocal como para el instrumental de forma individual y cuando se les ha aplicado la FFT. Por último, una opción adicional que muestre las dos anteriores gráficas de forma simultánea para facilitar el proceso de comparación.

Figura 16

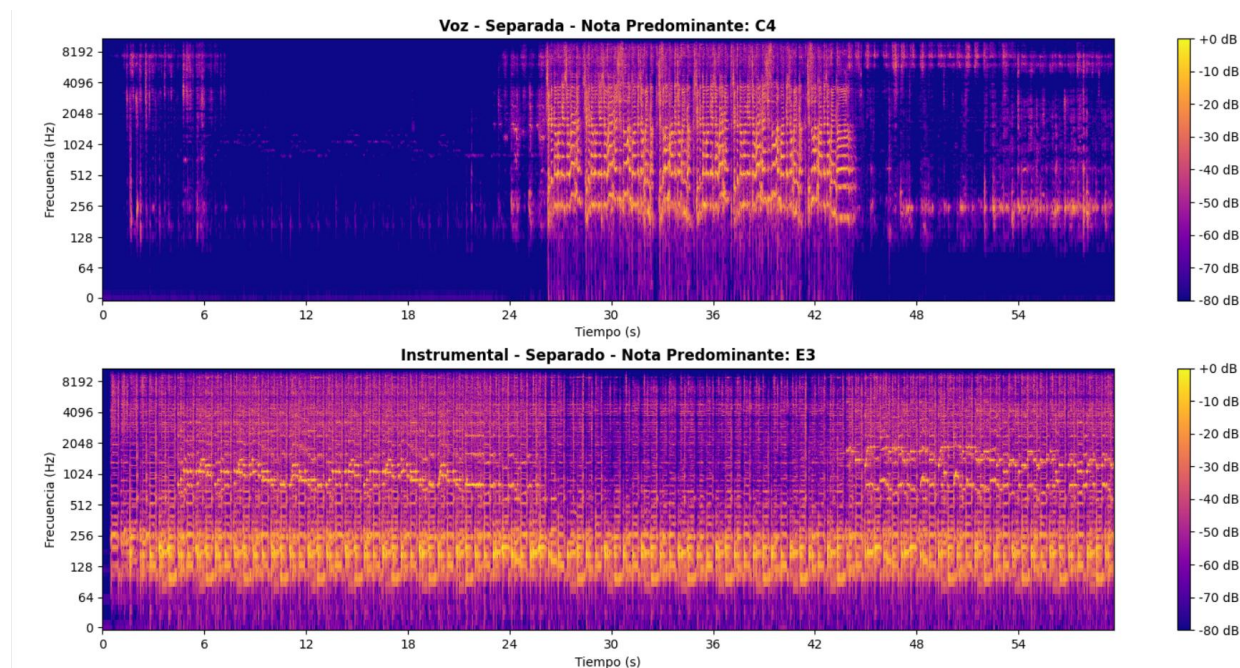
Gráfica del espectrograma del audio original.



Nota. La figura muestra el gráfico de espectrograma creado a partir de cargado de un audio en su estado original incluyendo la nota musical predominante encontrada. Fuente: Elaboración propia.

Figura 17

Gráfica de espectrograma del componente de voz e instrumento.

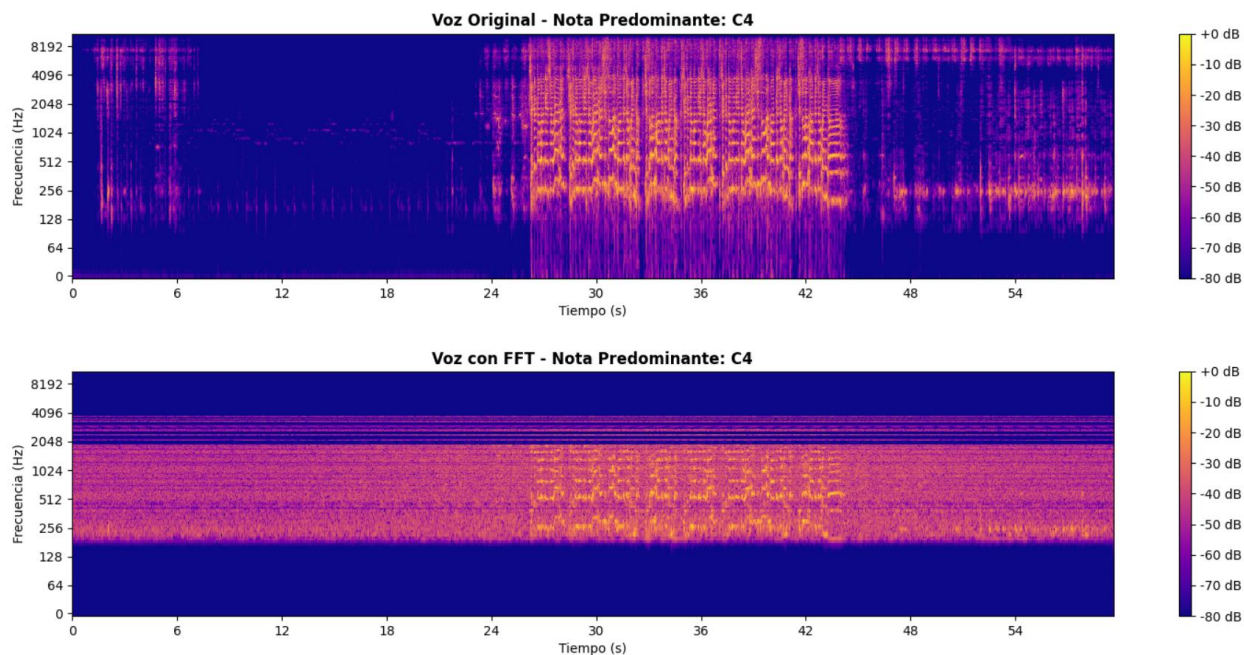


Nota. La figura muestra el gráfico de espectrograma para el componente vocal e instrumental adicionalmente la visualización de la nota predominante de forma individual para cada elemento.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18

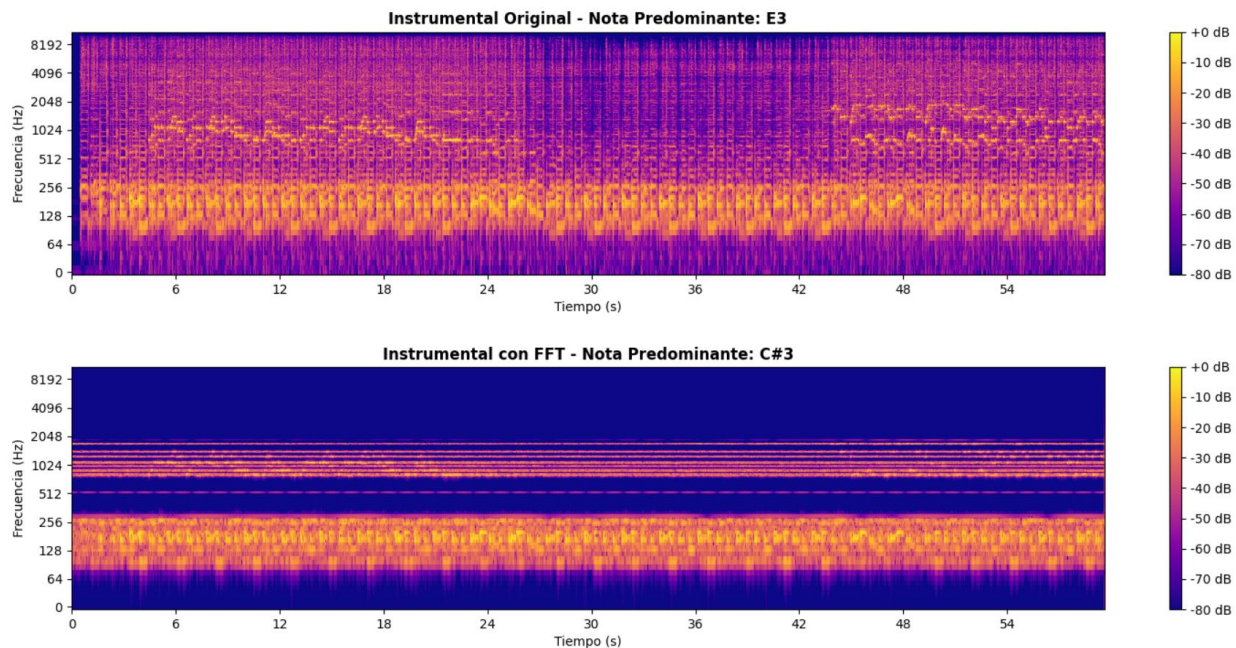
Gráfica de espectrograma para la voz original y con FFT.



Nota. La figura muestra la comparativa del espectrograma del componente vocal original y del componente cuando se le aplica la FFT, de la misma manera sus notas musicales predominantes. Fuente: Elaboración propia.

Figura 19

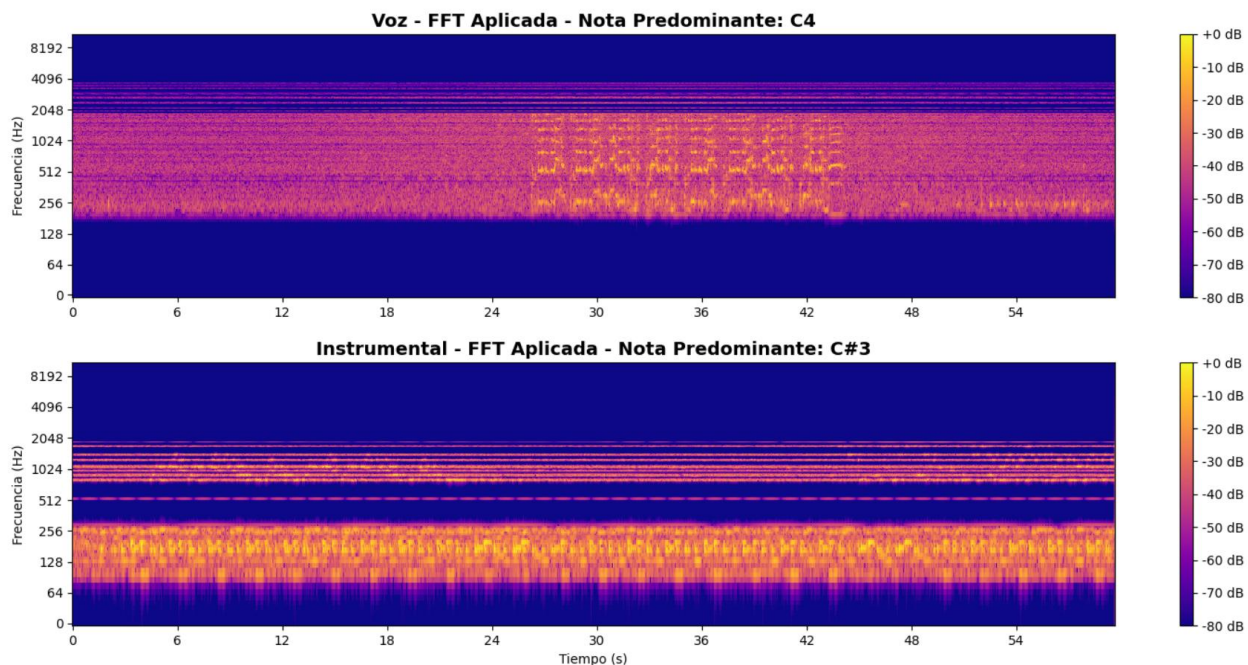
Gráfica de espectrograma para el instrumental original y con FFT.



Nota. La figura muestra la comparativa del espectrograma del componente instrumental original y del componente cuando se le aplica la FFT, de la misma manera sus notas musicales predominantes. Fuente: Elaboración propia.

Figura 20

Gráfico del espectrograma para los componentes de voz e instrumental con FFT.

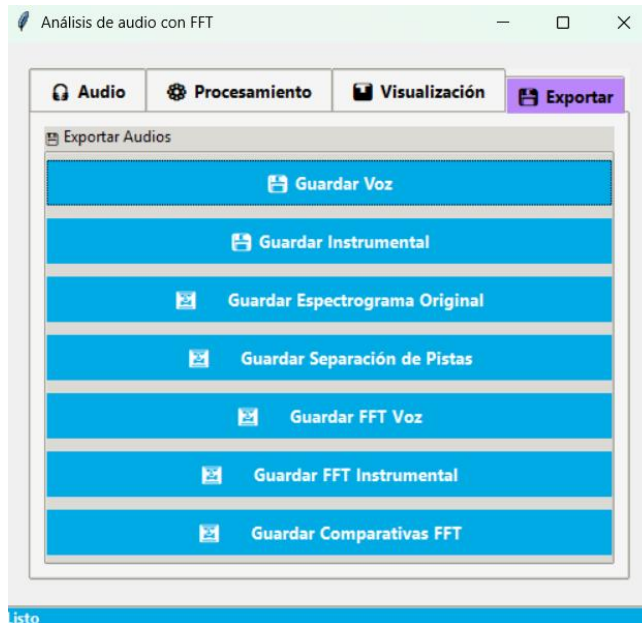


Nota. La figura muestra la comparativa entre el espectrograma generado para el componente vocal y el instrumental, ambos con la FFT aplicada y mostrando sus notas predominantes. Fuente: Elaboración propia.

En este punto el sistema ya cumple con toda la parte funcional de procesamiento de audios y visualización de espectrogramas, por lo tanto, lo siguiente a realizar fue el módulo de exportación. En él se agregaron varios botones equivalentes a los del apartado de visualización con la diferencia de que estos no muestran los gráficos, sino que los exportan como archivos png abriendo el explorador para que el usuario elija su ruta preferida. Del mismo modo, se agregaron 2 opciones más para guardar el audio en su componente vocal y otro para el instrumental.

Figura 21

Módulo de exportación en la interfaz gráfica del software.



Nota. La figura muestra el módulo de exportación de resultados, se evidencian los botones que cumplen la acción de descargar los audios individuales de voz e instrumental, incluyendo los que permiten exportar los gráficos en archivos de imagen. Fuente: Elaboración propia.

La validación del sistema se llevó a cabo mediante pruebas funcionales a cada módulo desarrollado siguiendo la estructura de la lógica incremental planteada en la metodología ya que, una vez implementada la funcionalidad correspondiente se procedía con la realización de las pruebas para verificar su correcto funcionamiento en el sistema. Las pruebas consistieron en cargar diferentes tipos de audio con diferencias en la duración, calidad y contenido con el fin de evaluar las funciones de forma individual para tener esta certeza antes de ser integrado con los demás componentes del software.

Durante la ejecución del proyecto surgieron algunos inconvenientes que involucran errores técnicos de desarrollo que exigieron ajustes, como la necesidad de garantizar que los archivos al ser separados se actualizarán evitando la implementación de ese proceso al mismo archivo o la adaptación del código para que el modelo de Demucs generara correctamente las rutas de los archivos de análisis.

Al final de cada fase de entrega funcional se realizó la respectiva revisión con la directora del trabajo de grado, quien proporcionó sugerencias y correcciones necesarias a nivel técnico y visual, de esta forma, se logró la validación para garantizar el cumplimiento de los objetivos de cada módulo y en conjunto, el correcto funcionamiento del software evidenciando el claro análisis espectral, el correcto procesamiento de los audios e incluyendo la estabilidad del programa dentro del entorno de desarrollo.

Resultados y Discusión

Resultados Funcionales Del Sistema

Al cierre del desarrollo de la herramienta software hasta el estado actual de la misma se ha alcanzado una herramienta desarrollada, en funcionamiento y utilizable para ejecutar todo el proceso de análisis acústico de cantos ancestrales muiscas desde una interfaz gráfica bien estructurada, accesible y adecuada a lo largo de todo el proceso de uso de la herramienta en su contexto real. En contraposición con el anterior capítulo, donde se describió la arquitectura del software que compone el software en sí y la forma en la que se han ido desarrollando cada uno de los módulos, en este capítulo se presentarán los resultados obtenidos al aplicar la aplicación de la herramienta software en condiciones reales de uso de la misma.

El sistema permite iniciar la aplicación a partir de cargar cualquier tipo de archivo de audio, pasando este a un formato .wav, que es el utilizado para el procesamiento posterior. Tras cargar el archivo de audio, se separan las diferentes fuentes utilizando el modelo Demucs que permite obtener dos pistas, una correspondiente al componente vocal y otra correspondiente al instrumental. Esta separación tiene una gran importancia para ejecutar un análisis más adecuado y detallado de cada una de las partes que componen el canto ancestral, sobre todo considerando que los registros de canto en este sentido suelen incluir acompañamientos acústicos complejos.

Más adelante, se pueden visualizar espectrogramas del audio original junto con sus componentes. En la Figura 16 se indica el gráfico espectral del archivo original sin aplicar la Transformada Rápida de Fourier, el que se presenta en las Figuras 17 y 18 es el espectro individual de los registros de los dos componentes desde sus espectros, también previos a realizar el proceso FFT, por lo que todavía conservan frecuencias naturales, donde se podrá observar armónicos predominantes a partir del gráfico de espectrograma tal como se hallaba en el auditorio original.

Al activar el botón para aplicar la FFT, la aplicación se pone a realizar un análisis más a fondo de los mismos elementos sonoros, de tal forma que en el espectrograma que se halla en la Figura 18, el componente vocal, después de aplicar la FFT corresponde a una mayor riqueza de información en la que se procederá a identificar con más acierto sus armónicos predominantes, donde este comportamiento se repite de forma similar para el componente instrumental, tal como se puede observar en la Figura 19, donde los picos de energía y la densidad frecuencial se manifiestan con mayor definición; finalmente, la Figura 20 permite ver en el mismo gráfico espectrogramas de los dos componentes vocal e instrumental, los dos procesados por la FFT, por lo que se puede apreciar la comparación directa entre sus características.

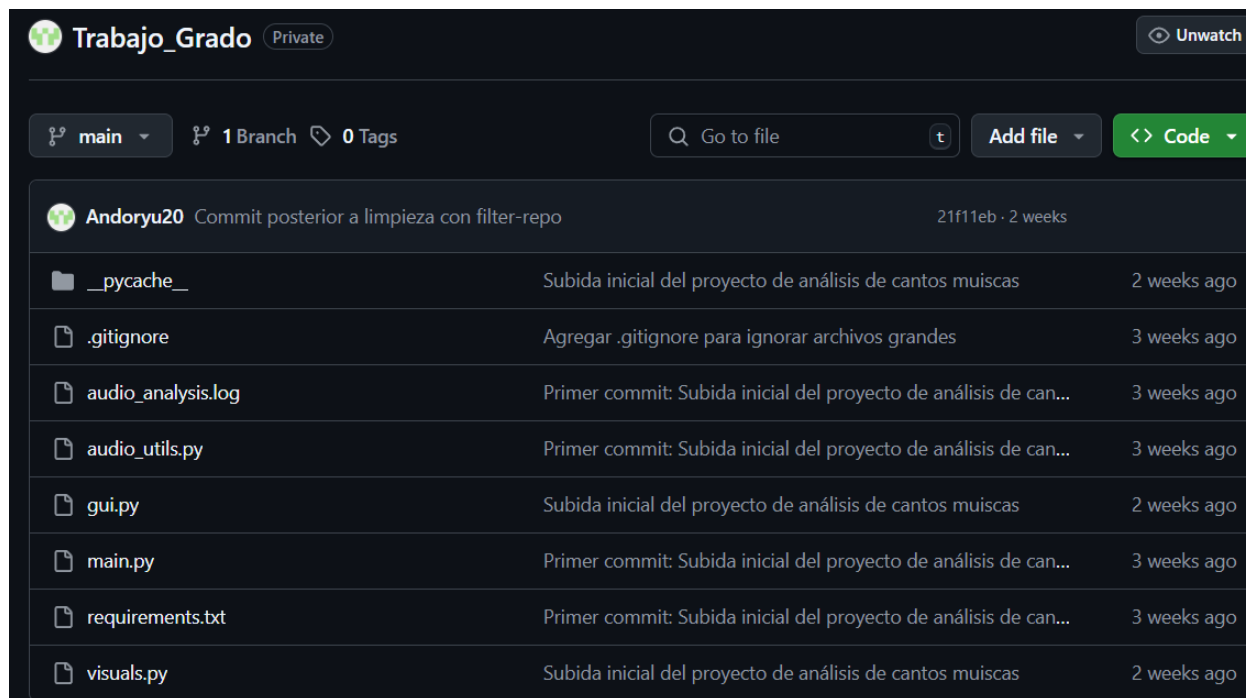
Aparte de las visualizaciones antes mencionadas, el sistema también pone a disposición un nuevo módulo de exportación (ver Figura 21), que permite guardar las imágenes de los espectros generados en el formato de imágenes .png, así como poder exportar de forma independiente los tracks de audio vocal e instrumental que han sido tratados, lo cual puede resultar interesante para tareas de documentación y de mantenimiento para funcionalidades educativas o investigativas puesto que, a través de estas exportaciones, se pueden tener los resultados en formatos portables, fácilmente intercambiables.

Paralelamente a las funciones técnicas completadas, para cubrir los requerimientos de la modalidad de trabajo de grado, se generó un artículo científico orientado a la divulgación de nuestros resultados en revistas especializadas, y de manera abierta también se subió el código fuente del software a un repositorio público oficial estructurado en GitHub, para cubrir los requerimientos de la modalidad de trabajo de grado. Todo ello con la finalidad de garantizar la integridad, la réplica y la futura evolución de nuestros resultados. De forma general, se puede decir que esta serie de funciones implementadas y de acciones complementarias permite afirmar el cumplimiento de los objetivos técnicos del proyecto, puesto que se planteó una herramienta funcional y documentada para generar análisis visuales y

auditivos de los cantos tradicionales que, a su vez, se oriente por una metodología rigurosa, minuciosa y que facilite el acceso a la misma.

Figura 22

Repositorio con el código fuente del software cargado.



Nota. La figura muestra el repositorio creado en GitHub con todo el contenido del código fuente del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Análisis De Los Resultados Acústicos

El análisis espectral de los cantos Muiscas permite identificar las características armónicas y tonales que definen estas expresiones culturales, dejando en evidencia tanto las estructuras rítmicas como las particularidades vocales e instrumentales. Para este análisis se han seleccionado segmentos específicos de dos grabaciones: "Suba Chune, La Furia Montañera y Wilson Porras" y "Mar Garay, Fuego É Tambó y Gaitas y Brisa Cuenca." Cada segmento se ha elegido cuidadosamente para capturar los momentos más representativos de las interpretaciones, con el objetivo de documentar y preservar estas tradiciones. Este

enfoque permite no solo documentar las estructuras musicales, sino también comprender cómo estas formas sonoras permiten las prácticas culturales de las comunidades Muiscas.

Primer Audio

Suba Chune, La Furia Montañera y Wilson Porras (<https://youtu.be/dlEBMmWcEhI?si=2s7-M8x7bXwAcys9>)

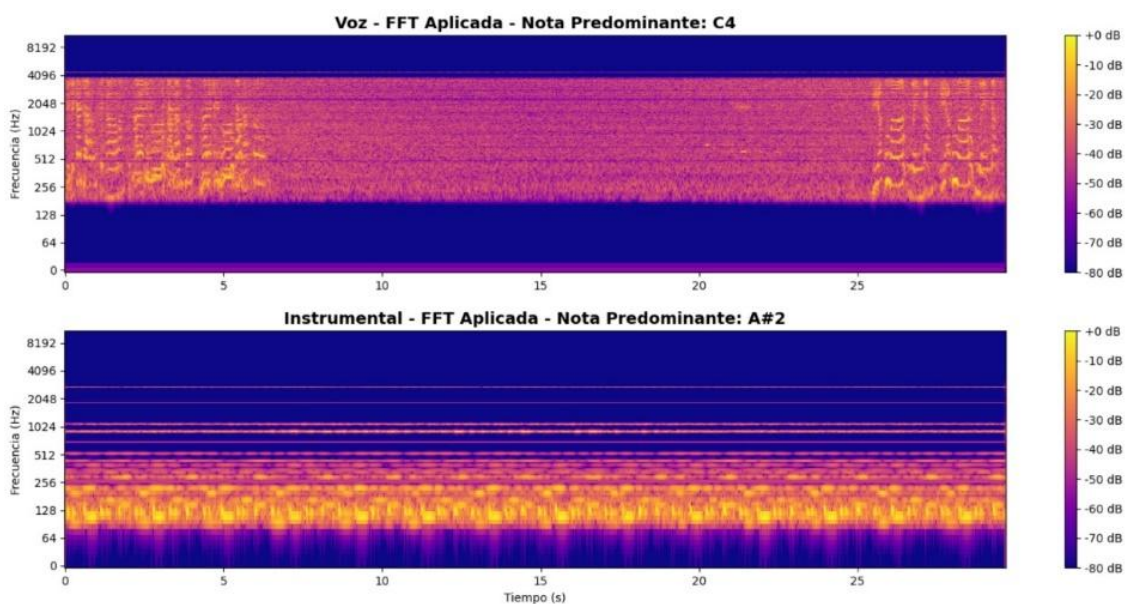
Para esta grabación se seleccionaron tres intervalos de tiempo específicos para capturar las transiciones musicales más importantes:

Segmento 1 (0:30 – 1:00), en esta fase inicial las grabaciones suelen presentar motivos tonales simples y estructuras rítmicas mínimas, mostrando que ese es el inicio de las ceremonias Muiscas, donde se establece una conexión con las fuerzas naturales. Las notas predominantes son más graves, creando una “atmósfera introspectiva y solemne”. La voz en este segmento tiene una nota predominante de C4, con un rango armónico amplio entre 256 Hz y 2048 Hz, mientras que los instrumentos muestran una nota predominante de A#2, típicamente asociada con frecuencias estables de percusión o cuerdas Banse, R., & Scherer, K. R. (1995).

En este espectro la voz muestra una nota predominante de C4 (Do4), con un alto contenido armónico en el rango de 256 Hz a 2048 Hz. Las variaciones en la intensidad a lo largo del tiempo dejan en manifiesto los cambios emocionales o dinámicos, con posibles técnicas como vibrato, resonancias guturales o modulación intencional Banse, R., & Scherer, K. R. (1995). Por otro lado, en la parte instrumental, la nota predominante es A#2, lo que indica frecuencias estables y bien definidas, típicas de instrumentos de percusión o cuerdas que generan una base rítmica constante para el canto ceremonial Juslin, P. N., & Laukka, P. (2003).

Figura 23

Espectrograma de comparativa de voz e instrumental de la primera grabación del primer audio.



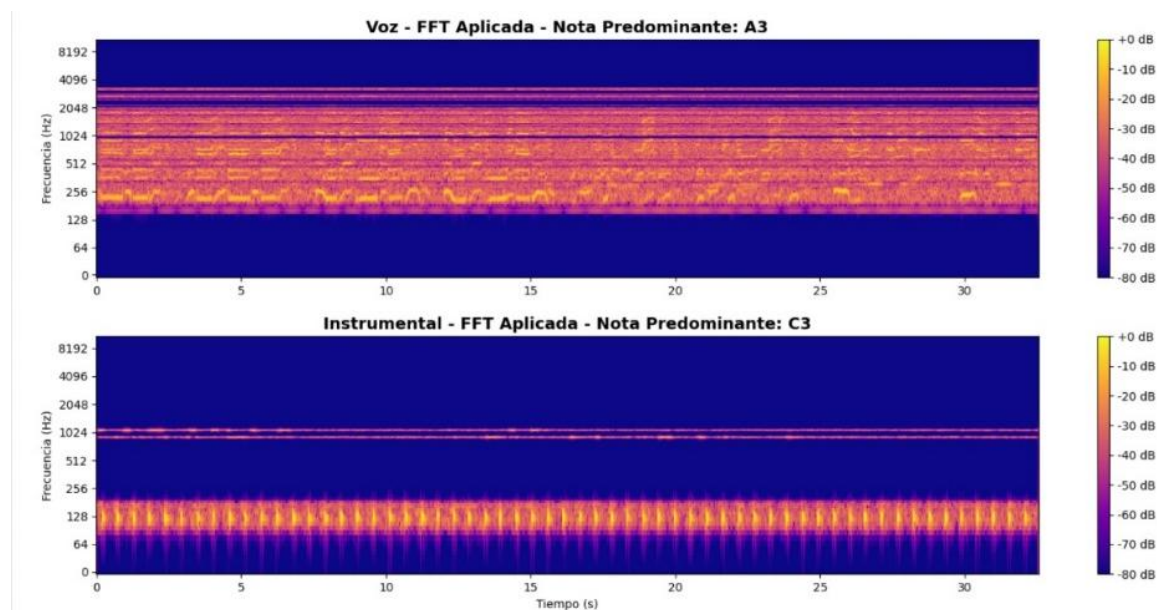
Nota. La figura muestra la comparación entre la gráfica creada a partir del componente vocal y el instrumental junto a sus notas predominantes en base a la primera grabación de audio. Fuente: Elaboración propia.

Segmento 2 (1:15 – 1:45), en esta parte el ritmo se estabiliza y se observan ciclos repetitivos que pueden representar patrones rituales. Las voces alcanzan notas más agudas, como A3, mientras que los instrumentos se estabilizan en C3, creando un contraste claro entre los tonos agudos y graves. Esta estructura refleja las dinámicas de diálogo entre líder y comunidad, típico de los rituales Muisca (Sundberg, J. (1987).

En este espectro, las voces presentan notas más agudas, posiblemente utilizadas para enfatizar momentos específicos en las ceremonias, creando un contraste claro con los tonos graves y consistentes del acompañamiento instrumental. Esto puede mostrar una estructura de "llamada y respuesta" común en muchas tradiciones indígenas, donde la voz lidera y los instrumentos responden (Feld, S. (1982).

Figura 24

Espectrograma de comparativa de voz e instrumental de la segunda grabación del primer audio.



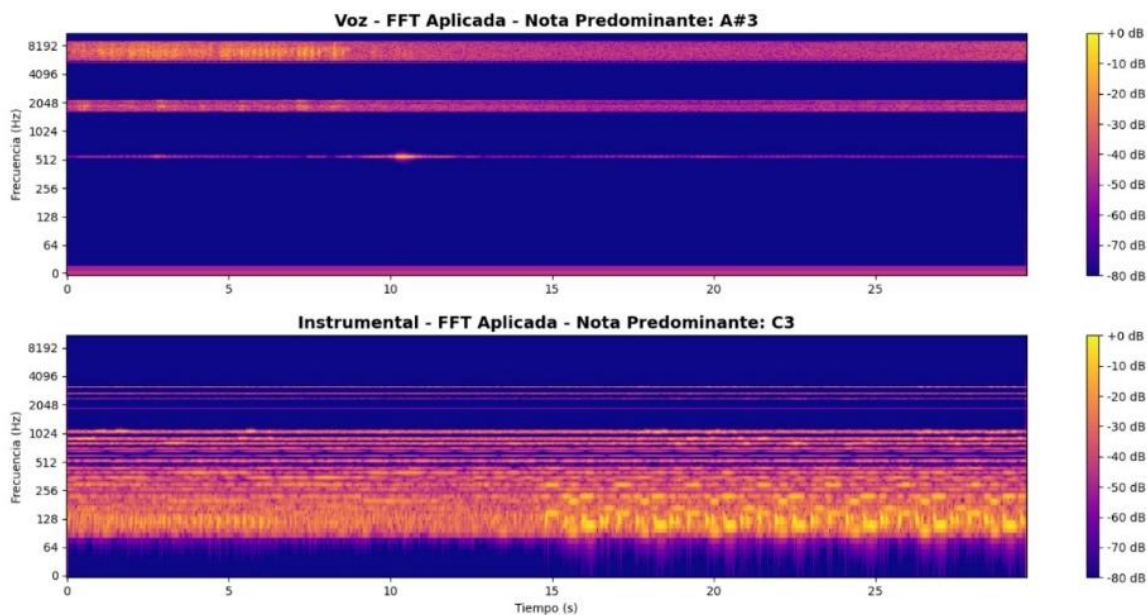
Nota. La figura muestra la comparación entre la gráfica creada a partir del componente vocal y el instrumental junto a sus notas predominantes en base a la segunda grabación de audio. Fuente: Elaboración propia.

Se observa amplia cantidad de armónicos en las grabaciones vocales, evidenciando diferencias claras en la intensidad de las frecuencias y en las técnicas vocales utilizadas. Esto indica una variación importante en la interpretación y en la forma en que los instrumentos responden a los motivos vocales Sundberg, J. (1987).

Segmento 3 (2:05 – 2:35), este es el punto fundamental en la interpretación, ya que el fraseo se vuelve más ornamentado y las voces alcanzan notas más agudas, como A#3, creando una sensación de clímax emocional. Los instrumentos, con una nota predominante de C3, mantienen una base rítmica firme que refuerza el carácter ceremonial del canto Feld, S. (1982).

Figura 25

Espectrograma de comparativa de voz e instrumental de la tercera grabación del primer audio.



Nota. La figura muestra la comparación entre la gráfica creada a partir del componente vocal y el instrumental junto a sus notas predominantes en base a la tercera grabación de audio. Fuente: Elaboración propia.

En este último espectro, las voces presentan notas más agudas, posiblemente utilizadas para enfatizar momentos específicos en las ceremonias, creando un contraste claro con los tonos graves y consistentes del acompañamiento instrumental. Esto puede poner en evidencia la existencia de una estructura de "llamada y respuesta" común en muchas tradiciones indígenas, donde la voz lidera y los instrumentos responden, creando una experiencia sonora integral Feld, S. (1982).

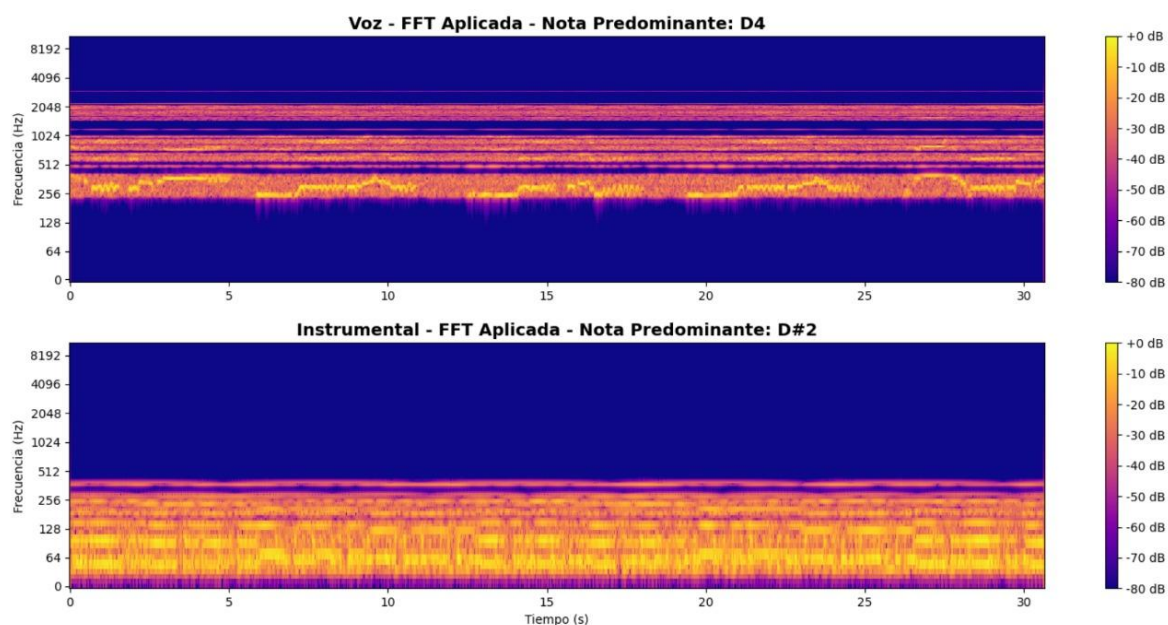
Segundo Audio

Mar Garay, Fuego É Tambó y Gaitas y Brisa Cuenca (https://youtu.be/CdHSCQyRydg?si=qKdVka_ZCHVxPOJ)

En este caso, el análisis de los espectrogramas muestra diferencias significativas entre las partes vocales e instrumentales, dejando en manifiesto la diversidad de técnicas utilizadas en los cantos Muisca.

Figura 26

Espectrograma de comparativa de voz e instrumental de la primera grabación del segundo audio.



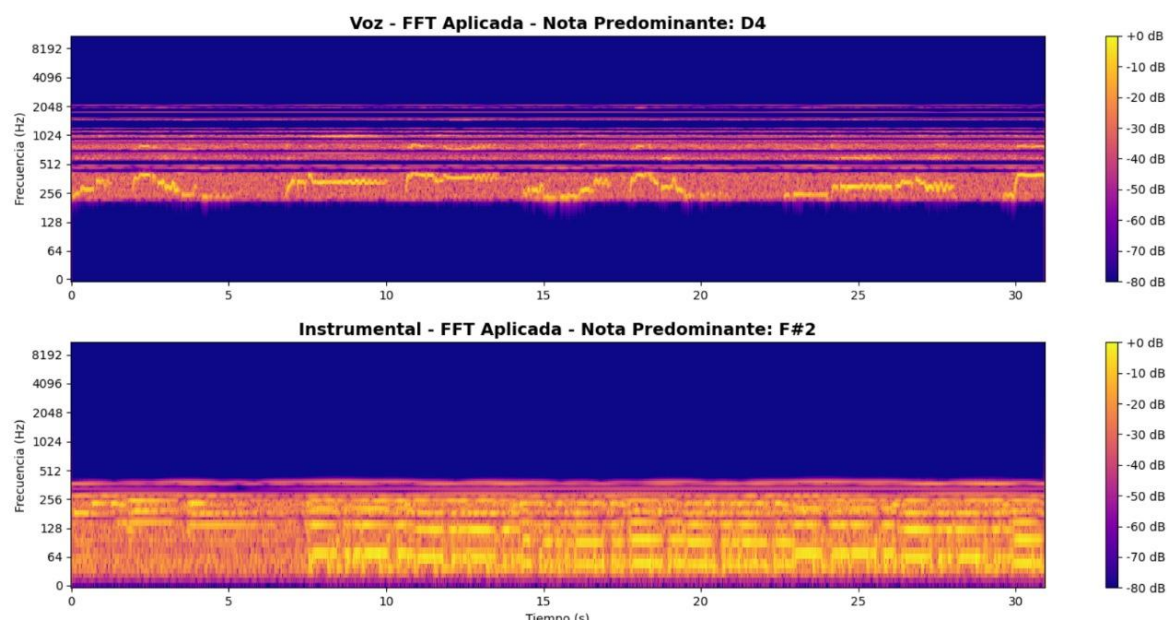
Nota. La figura muestra la comparación entre la gráfica creada a partir del componente vocal y el instrumental junto a sus notas predominantes en base a la primera grabación del segundo audio. Fuente: Elaboración propia.

En este espectro, la voz muestra una nota predominante de D4, con un alto contenido armónico en el rango de 256 Hz a 2048 Hz. Las variaciones en la intensidad a lo largo del tiempo insinúan cambios emocionales o dinámicos, con posibles técnicas como vibrato, resonancias guturales o modulación

intencional Banse, R., & Scherer, K. R. (1995). Por otro lado, en la parte instrumental, la nota predominante es D#2, lo que indica frecuencias estables y bien definidas, las cuales son típicas de instrumentos de percusión o cuerdas que se enfocan de una base rítmica constante para el canto ceremonial Juslin, P. N., & Laukka, P. (2003).

Figura 27

Espectrograma de comparativa de voz e instrumental de la primera grabación del segundo audio.



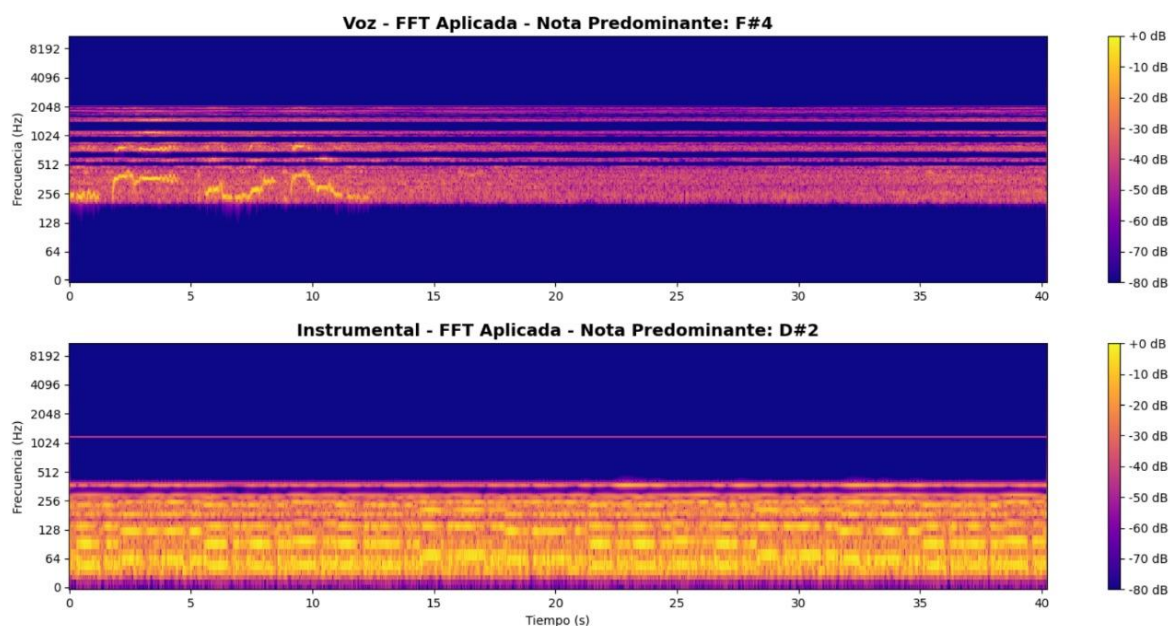
Nota. La figura muestra la comparación entre la gráfica creada a partir del componente vocal y el instrumental junto a sus notas predominantes en base a la segunda grabación del segundo audio. Fuente: Elaboración propia.

En esta figura, la voz mantiene una nota predominante de D4, con un rango armónico extenso que cubre frecuencias desde aproximadamente 256 Hz hasta 2048 Hz, reflejando posibles técnicas vocales avanzadas como el vibrato o resonancias guturales Banse, R., & Scherer, K. R. (1995). El espectro instrumental, con una nota predominante de F#2, presenta frecuencias más estables, típicas de instrumentos

de percusión o cuerdas que tienen una base rítmica constante para las ceremonias Juslin, P. N., & Laukka, P. (2003).

Figura 28

Espectrograma de comparativa de voz e instrumental de la primera grabación del segundo audio.



Nota. La figura muestra la comparación entre la gráfica creada a partir del componente vocal y el instrumental junto a sus notas predominantes en base a la primera grabación del segundo audio. Fuente: Elaboración propia.

En esta figura, se observa una voz con una nota predominante de F#4, caracterizada por frecuencias más agudas y un rango de armónicos que se extiende desde aproximadamente 512 Hz hasta 4096 Hz, lo que propone técnicas avanzadas de modulación vocal. Por otro lado, el espectro instrumental, con una nota predominante de D#2, presenta frecuencias más bajas y estables, típicas de instrumentos de percusión o cuerdas Juslin, P. N., & Laukka, P. (2003).

El análisis espectral de estos cantos no solo ayuda a preservar la esencia musical de las ceremonias Muiscas, sino que también abre la oportunidad de “volver al pasado”, permitiendo a los investigadores y músicos de hoy puedan explorar las voces y ritmos que han dado forma a esta cultura ancestral. La unión entre la tecnología y tradición mantiene vivo un legado que debería trascender por muchas generaciones, conectando las historias, emociones y espiritualidad de una comunidad, con las herramientas modernas pretendiendo que todas estas expresiones continúen resonando en aquellos que tengan acceso a ellas.

Discusión Técnica y Cultural

La ejecución de software para el análisis de los cantos ancestrales muiscas representa un reconocimiento significativo tanto para la computación como para el propio saber e interpretación de los conocimientos ancestrales. Desde la computación una herramienta que implementa varios de los procesos básicos del análisis acústico: carga de archivos, conversión a un archivo .wav de forma automática, separación voz/intérprete, implementación de la Transformada Rápida de Fourier, visualización de espectrogramas y exportación de resultados. Tal forma de hacer las cosas integradas dentro de una interfaz gráfica modular que dan un flujo de trabajo completo para hacer análisis sonoros completos y no tener necesidad de tener conocimientos avanzados en programación o conocimiento de tratamiento de señales. Esta característica de accesibilidad técnica del sistema es uno de sus grandes hitos, poder democratizar herramientas que se encuentran, normalmente, en procesos segmentados o acotados a entornos muy especializados.

Al contraponerlo a otras alternativas, el sistema enfatiza la existencia de una función específica y una necesidad concreta en el ámbito de la documentación sonora patrimonial. Y a diferencia de las plataformas de análisis musical idealizadas en la búsqueda de propiedades musicales tradicionales, este software ha sido diseñado explícitamente para poder albergar los cantos muiscas, contemplando no sólo las características acústicas, sino también su valor simbólico y su función ritual, así como su vinculación

con el territorio. De este modo, tanto la propia arquitectura del sistema como las decisiones de diseño no fueron neutrales, sino guiadas, por principios de interculturalidad, de respeto por el canto y por sensibilidad con la eventual sacralidad de los cantos patrimoniales que pudieran reunir muchas de las grabaciones documentadas.

Desde esta óptica, la utilización de tecnologías como la FFT y los espectrogramas, lejos de suponer una reducción científica del canto, constituye una vía alternativa para el estudio y la documentación del canto. La herramienta no modifica ni transforma la propia naturaleza del canto, acto que se presenta a los ojos del etnomusicólogo como el canto inalterado a través de su cualidad expositiva, sino que lo que hace es mostrar su estructura ya que, a través de estas tecnologías, es posible observar aspectos internos del canto que pueden enriquecer el análisis que plantea la etnomusicología o la pedagogía intercultural. Se trata de un procedimiento de poca invasión, que corrige una de las inquietudes éticas más importantes a tener en cuenta en el canto ancestral: su huella simbólica, su expresividad, su propia naturaleza, llevándola a llegar a convertirse en un mero objeto para su disección técnica.

Cabe mencionar que el presente trabajo de grado no nace como un documento aislado, sino, como parte articulada de un proyecto de mayor alcance propuesto por la directora, el cual tiene como propósito general la investigación, documentación y análisis del repertorio de las expresiones sonoras ancestrales desde un enfoque transdisciplinar. Este marco se compagina con el software que se documentó en manuales técnico y de usuario; su código se puso a disposición con la publicación en un repositorio digital para garantizar su integridad, asegurar su trazabilidad académica y ser utilizado, consultado, por otros componentes del proyecto o por entidades afines. Su disponibilidad no obedecía a una voluntad de promover la réplica libre o la posibilidad de realizar otros cambios sobre la solución, sino asegurar que su uso y su evolución se circunscriban exclusivamente al marco metodológico y ético del que se difunde en general.

Implicaciones Prácticas

La puesta en práctica del software elaborado tiene significados prácticos que son realmente relevantes en ámbitos diferenciados relacionados con el estudio, la documentación y la salvaguarda del patrimonio sonoro. En primer lugar, se establece como una herramienta práctica que sirve para investigadores, docentes y aprendices deseosos de ampliar su forma de abordar los cantos ancestrales desde el punto de vista estrictamente técnico, pero sin perder de vista, para nada, su componente simbólico y su dimensión cultural. Como resultado de la separación de fuentes (canto vs. instrumentación) y del análisis espectral a partir de la FFT, se pueden evidenciar patrones acústicos que pueden ser explicados desde la etnomusicología, la lingüística o la antropología del sonido sin tener que alterar para nada los propios registros que se analizan, ni entrar a modificar su contenido.

En el contexto educativo, el sistema puede ser incorporado como recurso de apoyo dentro de espacios pedagógicos donde se trabaja la interculturalidad, la identidad o el patrimonio. La posibilidad de visualizar los componentes vocales e instrumentales de un canto ancestral de forma gráfica permite el desencadenamiento de dinámicas de aprendizaje comparativo, de análisis colectivo y de reflexión crítica en torno a la diversidad sonora de los pueblos indígenas. En cuanto a su accesibilidad, la sencillez y la claridad de la interfaz del software permite que pueda ser usado por personas no especializadas, lo que amplía el potencial de su uso en escuelas, centros culturales o en el marco de una comunidad.

Desde la perspectiva institucional, el software constituye una alternativa innovadora para llevar a cabo procesos de documentación del patrimonio in situ. Mediante la exportación de los resultados en formato visual y sonoro se pueden generar archivos sonoros que son útiles para archivos sonoros, bases de datos culturales o repositorios académicos. Estas funcionalidades aportan a la construcción de la memoria colectiva desde lo sonoro y a que el conocimiento sobre los cantos muiscas sea perpetuado y se pueda acceder a él en formatos que vayan siendo enriquecidos y estructurados técnicamente.

Finalmente, ligado a un proyecto mayor de investigación, este desarrollo no se queda solo en una necesidad contextual, sino que se proyecta como un producto del cual se servirán próximas fases de indagación, sistematización y socialización del patrimonio sonoro indígena. Su diseño modular y su documentación técnica lo vuelven susceptible de ser utilizado en otros escenarios sin perder la coherencia con los objetivos culturales y académicos que lo sostienen.

Conclusiones

El mencionado proyecto ha logrado, con éxito, el desarrollo de un software funcional para el análisis acústico de los cantos ancestrales muiscas, conforme a los principios de naturaleza técnica, cultural y metodológica que conforman una propuesta coherente de documentación patrimonial respetuosa. La herramienta generada permite cargar, procesar, separar y visualizar señales sonoras mediante la aplicación de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) todo ello en una interfaz gráfica accesible y al alcance de personas no especializadas. La posibilidad de aplicar la herramienta al dar lugar así a la solución del objetivo general del trabajo que se centraba en la búsqueda de una solución concreta, con el rigor que la computación permite, pero también una afinada sensibilidad contextual frente a las expresiones sonoras que tienen su origen en el seno de lo indígena. El trabajo comienza en el lugar de la documentación patrimonial y llega a un punto cualquiera donde la solución carece de evidencias y el paquete no ha de olvidar tampoco las evidencias sonoras.

Así, el proceso dio inicio con una revisión teórica y tecnológica que ha permitido familiarizarse con la utilidad y las ventajas de la Transformada Rápida de Fourier en el estudio acústico de las señales complejas. Lo expuesto también ha podido llegar a consolidar lo conceptual que fundamenta la aplicación de la Transformada Rápida de Fourier, razón por la cual se ha promovido como núcleo metodológico al poder representar la estructura interna de un canto sin necesidad de cambiar su

contenido, lo que concuerda con los principios de un análisis no invasivo y el respeto por el valor simbólico que tiene un canto tradicional.

Sobre esa base, se determinó la forma de implementar un sistema para el tratamiento de cantos ancestrales muiscas, por medio de separación de fuentes y del análisis espectral. Este desarrollo incluyó los módulos funcionales para separar la señal en los componentes vocal e instrumental, para hacer las FFT de ellos y generar espectrogramas que muestren de forma gráfica el contenido frecuencial. La forma gráfica de este sistema era la mejor para facilitar la implementación de este trabajo de forma intuitiva, y el flujo modular ofrecía estabilidad, claridad y versatilidad en su uso.

El trabajo incluyó también la documentación técnica y académica del proyecto, los cuales incluían un artículo científico que relacionaba el aporte del software hacia el campo de la ingeniería, del análisis acústico y de los estudios etnomusicológicos, a la producción de un manual técnico, un manual de usuario para personas no expertas, y al código fuente publicado en repositorio digital controlado, que garantizaba la integridad del sistema y su trazabilidad dentro del marco del gran proyecto.

El proyecto plantea una opción técnica válida para abordar el estudio de patrimoniales expresiones sonoras con una aplicabilidad especialmente valiosa en ámbitos educativo, investigativo y cultural. La modularidad del proyecto así como una interfaz clara y accesible hacen posible que personas sin estudios técnicos puedan explorar los componentes sonoros de un canto, abriendo posibilidades para su aplicación en formación intercultural, investigación etnomusicológica o procesos de documentación comunitaria. Además, en su integración a un proyecto mayor da cuenta de su pertinencia institucional y de la adecuación de su funcionalidad a procesos de mayor envergadura.

Las limitaciones que se detectaron fueron, en este sentido, el tiempo de procesamiento en equipos de poco recurso, la necesidad de versiones para diferentes entornos operativos; así como el hecho de que el sistema de visualización espectral aunque claro, no ofrece todavía análisis estadísticos

automatizados ni segmentación compleja, lo que da pie a un desarrollo posterior. En términos de proyección, se considera que la herramienta podría ser ampliada para el análisis de otras expresiones musicales tradicionales, como también complementada con módulos para comparar espectros, reconocer modalidades o desplegar metadatos etnográficos. En este sentido, el software debe ser considerado como un punto de partida para futuras investigaciones en ingeniería, ciencias del sonido o estudios interculturales.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar Garavito, L. (2018). *Mama Luka: Composición musical desde la identidad muisca*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Banse, R., & Scherer, K. R. (1995). *Acoustic Profiles in Vocal Emotion Expression*. *Journal of Personality and Social Psychology*.
- Castrillón Galindo, E. M. (2016). *El paisaje sonoro como estrategia pedagógica de identidad cultural muisca*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Comparasoftware. (2021). *Modelo incremental: fases*. Blog de Comparasoftware. Recuperado de <https://blog.comparasoftware.com/modelo-incremental-fases/>
- Cortés Osorio, J. A., Knott, A. M., & Chaves Osorio, J. A. (2012). *Aproximación a la síntesis de la música a través del análisis de Fourier*. *Scientia et Technica*, 17(52), 129–135. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Cortés Unda, S. (2023). *Propuesta metodológica para la recuperación del patrimonio sonoro muisca*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Díaz-Emparanza, M. (2022). *Procesos de análisis sonoro y pedagógico en músicas tradicionales*. Universidad del País Vasco.
- Duran, D., Talero, C., & Mendoza, A. (2022). *Informe IDARTES - Subana Chibtysqua: Prácticas musicales muisca en Suba*. IDARTES.
- Feld, S. (1982). *Sound and Sentiment: Birds, Weeping, Poetics, and Song in Kaluli Expression*. University of Pennsylvania Press.

- Jaramillo, D., & Chuquimarca, L. (2022). *Estudio comprensivo de la transformada de Fourier discreta para el análisis de señales digitales*. Revista Científica y Tecnológica UPSE, 9(1), 75–84.
<https://doi.org/10.26423/rctu.v9i1.664>
- Juslin, P. N., & Laukka, P. (2003). Communication of emotions in vocal expression and music performance: Different channels, same code? *Psychological Bulletin*.
- Mwebs. (s.f.). *Qué es el desarrollo incremental*. Recuperado de <https://mwebs.com.uy/blog/qué-es-el-desarrollo-incremental/23>
- Pareyón, G. (2023). *La teoría de la música como intersección entre el análisis armónico y la teoría de números*. Súmula: Revista de Teoría y Análisis Musical, 1(1), 70–79.
<https://doi.org/10.59180/29525993.a5029681>
- Roads, C. (2001). *Microsound*. MIT Press.
- Rodríguez, J. C. (2017). *Reducción de ruido en señales mediante la transformada de Fourier en tiempo reducido y espectrograma*. Universidad Autónoma de Colombia.
- Rojas de Perdomo, L. (2005). *Antropología de la música: La hermenéutica de la música amerindia y sus ancestros asiáticos*. Pensamiento y Cultura, 8(1), 207–232.
- Ruiz Álvarez, M. (2021). *Ecosofía sonora y ontología del canto en pueblos indígenas de los Andes*. Revista de Antropología del Sonido, 18(2), 45–66.
- Schachter, R. (2015). *Aplicaciones de la FFT en la enseñanza musical*. Revista Internacional de Educación Musical, 3(1), 17–26.
- Serra, X. (2011). *A multicultural approach in music information research*. En 12th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR) (pp. 151–156).

Stoppa, M., & Teixeira, A. C. S. (2015). *Transformada de Fourier aplicada à análise espectral de notas e acordes musicais*. Universidade Federal de Goiás.

<https://www.researchgate.net/publication/266877655>

Sundberg, J. (1987). *The Science of the Singing Voice*. Northern Illinois University Press.

UNESCO. (2003). *Convención para la salvaguardia del patrimonio cultural inmaterial*.

<https://ich.unesco.org/es/convencion7>

Apéndices

Apéndice A. Artículo Científico y Sometimiento En Revista

[ARTICULO CIENTIFICO - SOMETIMIENTO](#)

Apéndice B. Código Fuente y Manuales Técnico y De Usuario

[CODIGO FUENTE EN REPOSITORIO DE GITHUB](#)

[MANUALES TÉCNICO Y USUARIO](#)

Apéndice C. Cronograma De Actividades

[CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES SERGIO BRICEÑO - NICOLAS SERNA.xlsx](#)