



**Pablo Rubio Vargas
(Aguascalientes, 1984)**



Compositor y artista multidisciplinario. Doctor en música por la University of California, Santa Cruz (2019). Su obra la han interpretado diversos grupos nacionales e internacionales. Obtuvo distinciones como la beca posdoctoral de investigación UNAM-DGAPA (2022-24), la residencia posdoctoral CONACyT (2021), Residencias Artísticas del programa IBERMUSICAS (2018), UC Mexus-CONACyT "Collaborative Research Grant", investigación interdisciplinaria entre el IIMAS de la UNAM y el Departamento de Música de UCSC (2017). Explora las relaciones entre arte y ciencia, tecnología aplicada a la música, ornitología y multidisciplinaria.



**Jorge Rodrigo Sigal Sefchovich
(Ciudad de México, 1971)**



Compositor y gestor cultural. Profesor de la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Morelia, (UNAM). Doctor en la City University de Londres, con posdoctorado en la UNAM y diplomado en gestión cultural de la UAM-BID. Obtuvo diversas becas: Fulbright (2024), FONCA (2011-18), Pride C (UNAM) y Fundación DeVos. Desde 2006 dirige el Centro Mexicano para la Música y las Artes Sonoras. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt y del proyecto Lumínico, director del festival Visiones Sonoras y editor de la revista *Ideas sónicas*.

Paisaje sonoro: Creatividad interdisciplinaria y tecnologías aplicadas para el registro del canto de las aves

Soundscape: creative interdiscipline and technology applied to bird song register

Pablo Rubio Vargas

Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad de México, México

prubiova@ucsc.edu

 <https://orcid.org/0009-0007-8693-7038>



Jorge Rodrigo Sigal Sefchovich

Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad de México, México

rodrigo@cmmas.org

 <https://orcid.org/0000-0002-6871-0127>



Recibido: 30 de agosto / Aceptado: 1 de septiembre

Resumen

El artículo introduce al paisaje sonoro como herramienta interdisciplinaria directamente vinculada al uso de distintas tecnologías las cuales permiten observar cómo el humano interactúa con el entorno acústico. Este trabajo aborda el uso de desarrollos tecnológicos contrastantes que expanden el estudio y el desarrollo del paisaje sonoro, además de presentar algunas consideraciones, como la locación seleccionada y la tecnología de grabación empleada, lo cual no sólo configura la composición acústica de los elementos que lo integran, sino también su potencial aplicación científica. Se tomó en cuenta el avance tecnológico que ha permitido obtener mejores estrategias de captura acústica, así como ejemplos contrastantes entre sí, que posibilitan ampliar nuestro estudio en la catalogación y análisis del canto de las aves. Se observaron diferentes problemas durante la realización del paisaje sonoro, como el ruido de fondo, ubicación de micrófonos, reconocimiento algorítmico, entre otros, las cuales dificultan el reconocimiento algorítmico del canto de las aves encontradas en los paisajes sonoros, resultando en obras artísticas interdisciplinarias que emplean tecnologías distintas y contrastantes que posibilitan creaciones tanto artísticas como científicas.

ANTEC: Revista Peruana de Investigación Musical, Vol. 8, N° 2, julio-diciembre, 2024.

<https://doi.org/10.62230/antec.v8i2.250>



Esta obra está bajo Licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY NC ND).

Palabras clave

Paisaje sonoro; ecoacústica; interdisciplina; creación sonora; ornitología; música concreta

Abstract

This article introduces soundscape as an interdisciplinary tool directly linked to the use of different technology that reveals the interaction of humans with the acoustic environment. The work focuses on different technologies that expand the development and study of the soundscape, presenting different considerations as the recording's chosen location and the technology used, which not only configures the acoustic composition of the elements that integrate it, but also their potential scientific application. Taking into account the context of technological progress has allowed to obtain better recording strategies, as well as contrasting examples, which allow us to expand our study in bird calls' cataloging and analysis. Different problems were considered during the realization of the soundscape like background noise, microphone position, algorithmic recognition, among others, which hinder the algorithmic recognition of the bird calls found in soundscapes, resulting in works that use different and contrasting technologies enabling both artistic and scientific creations.

Keywords

Soundscape; ecoacoustic; interdisciplinary; creative sound; ornitology; musique concrète

Interdiscipliniedad en el paisaje sonoro

A lo largo del desarrollo de la música, en distintas épocas y circunstancias, ha despertado un interés particular el canto de las aves y su reinterpretación musical. Diversos compositores como Vivaldi, Rameau, Saint-Saëns, Stravinski, Janequin, Prokofiev y Respighi, por mencionar algunos, intentaron recrear el canto de las aves en contrastantes obras musicales. Diferentes esfuerzos han surgido en el ámbito musical por mejorar esta representación, un ejemplo sobresaliente puede ser observado en el compositor francés Oliver Messiaen, el cual desarrolló una sofisticada catalogación y transcripción aplicando sus conocimientos de ornitología, transcribiendo los distintos cantos de la manera más fiel posible (Hold, 1971).

El compositor canadiense Murray Schafer fue uno de los primeros en acuñar el término paisaje sonoro (Schafer, 1977), el cual se enfoca en registrar el entorno acústico por medio de dispositivos tecnológicos (Truax, 2008; Dunn y Lampert, 1989; Krause, 2013; Oliveros, 2007; Schafer, 1977). Por medio de diferentes avances tecnológicos en la captura sonora es posible grabar sonidos con mayor precisión y fidelidad, lo que ha resultado en una valiosa interacción tanto para propósitos artísticos como científicos, siendo el paisaje sonoro un área interdisciplinaria convergiendo ambos intereses. A lo largo de este trabajo nos concentramos en observar esta interacción entre arte y ciencia generando obras interdisciplinarias que involucran diferentes áreas de estudio como la música, desarrollo tecnológico aplicado al sonido, ornitología, entre otras.

Distintos desarrollos tecnológicos han permitido grabar, reproducir, sintetizar y amplificar el sonido causando un profundo impacto en la relación humano-sonido. Schafer contextualiza en su libro *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning*

of the World (1977) este constante pero paulatino proceso el cual se ha modificado al implementar diferentes tecnologías disponibles en la cotidianidad humana. Pone como ejemplo el teléfono que “extendió la escucha íntima a grandes distancias”. Como básicamente no es posible la intimidad sonora a distancia, los humanos han tardado un tiempo en acostumbrarse a esta nueva dinámica de interacción sonora (Schafer, 1977, p.89). Sin embargo, en el contexto actual, donde constantemente interactuamos con inteligencia artificial por medio del sonido, se puede subrayar lo que Schafer nos señala en el profundo impacto de nuestro interactuar con tecnología aplicada al sonido de forma cotidiana como una comodidad, lo cual ha sido posible gracias a los distintos avances tecnológicos.

Si observamos las prácticas de grabación y captura del sonido al desarrollo del tecnológico del paisaje sonoro como la capacidad de generar grabaciones fuera del estudio de grabación, encontramos como primer referente a las prácticas elaboradas en la *música concreta*,¹ movimiento artístico considerado como antecedente directo al paisaje sonoro, debido a la destreza en capturar sonidos fuera del estudio de grabación. Jorge David García Castilla, en su artículo “Musicología musical: la música y el sonido como medios de investigación crítica”, apunta cómo la *música concreta* “dio lugar a una forma novedosa de comprender la relación del ser humano con el sonido” (García, 2017, p. 5), al introducir el concepto de *objeto sonoro*, el cual facilita la escucha selectiva. El paisaje sonoro no propone la escucha selectiva, sino un entendimiento del entorno acústico a través de la escucha holística que permite la clasificación de los distintos eventos sonoros capturados en su propio contexto (Farina et al., 2018). En los inicios de la *música concreta* se empleaban las grabadoras portátiles disponibles, las cuales eran pesadas y difíciles de transportar, con poca duración de batería, que en comparación con las actuales han reducido en tamaño y ampliado en capacidad de almacenaje y fidelidad. Las primeras grabadoras empleadas resultaban ser complejas en su manejo (Porteous & Mastin, 1985, p. 173; Celis-Murillo et al., 2009, p.65), si las comparamos con las que actualmente se encuentran disponibles.

El uso de distinta tecnología disponible ha permitido emplear diversas estrategias de investigación en campos de ecoacústica y reconocimiento algorítmico del sonido, así como de planteamientos estéticos y sus potenciales aplicaciones científico-tecnológicas. Esto ha generado nuevas áreas de investigación entre el humano y su entorno a través del sonido. En particular, las grabadoras portátiles *ambisonics*² son capaces de capturar trayectorias sonoras en una esfera de 360°, siendo ideales para sistemas de audio envolvente debido a que permiten una captura fidedigna del entorno acústico. Este tipo de tecnología permite reproducir las distintas características acústicas del emisor del sonido, así como sus trayectorias y cualidades reverberantes del entorno. En la actualidad se encuentran disponibles diferentes

-
1. Movimiento artístico que surgió en la década de los cincuenta en Francia, siendo pionero Pierre Schaeffer, quien proponía grabar sonidos fuera del estudio, capturando aquellos que no se consideran musicales y que posteriormente se editaban e integraban a la composición.
 2. *Ambisonics* es la tecnología desarrollada para capturar y decodificar campos de registro sonoro en esfera de 360° al combinar cuatro micrófonos distribuidos en diferencial de tangentes y cosenos. Esto permite registrar trayectorias sonoro-espaciales para su posterior reproducción. Los patrones en los que se decodifican las grabaciones se conocen como primer orden, segundo orden, tercer orden, etc. Básicamente generan distintos patrones, creando una esfera sónica y superponiendo un patrón sobre otro. La tecnología *ambisonics* contempla la reproducción en sistemas multicanal de diferentes capacidades, desde estéreo, binaural, cuadrafónico, etcétera (Malham et al., 1995; Liu & Xie, 2021).

dispositivos capaces de grabar y reproducir audio como los teléfonos celulares, tabletas digitales, entre otros, que permiten hacerlo en distintas calidades, formatos y definiciones. En teoría, todo aquel que tenga acceso a alguno de estos dispositivos podría grabar paisaje sonoro.

Estrategias y metodologías empleadas

El paisaje sonoro se ha asociado a las prácticas artísticas en las que se registran los diversos fenómenos acústicos que ocurren en un lugar y momento determinado empleando distinta tecnología disponible. Está moldeado por los siguientes factores: a) el lugar y momento seleccionados para grabar; b) la tecnología empleada durante la realización del paisaje sonoro. Se toman en cuenta estas consideraciones debido a que impactan en el contenido y las características acústicas que integran el paisaje sonoro, así como su posible aplicación científica. Actualmente, diferentes dispositivos especializados permiten grabar fuera del estudio, facilitando el progreso y la popularización del paisaje sonoro como interdisciplina en distintas partes del globo. El paisaje sonoro ha permitido profundizar el conocimiento sobre la interacción humana con el entorno acústico. Diferentes trabajos emplean estrategias contrastantes entre sí; sin embargo, se puede hacer una generalización en cuanto al empleo y uso de esta tecnología descrita por el autor Mitchell Akiyama: "La composición del paisaje sonoro comienza con el acto de grabar, un gesto que, como tomar una fotografía, implica cierta medida de encuadre y exclusión. Sin embargo, muchos compositores se preocupan por lograr una representación auténtica del lugar" (Akiyama, 2010, p.54).

Los elementos que integran a un paisaje sonoro conforman un cúmulo de sonidos que se pueden clasificar de acuerdo al emisor que los genera. El medioambientalista norteamericano Bernie Krause describe una taxonomía que distingue tres categorías: geofonía, biofonía y antropofonía (2013). Geofonía es el conjunto de sonidos producidos por la tierra, como el aire o los terremotos. La biofonía corresponde a los producidos por diferentes seres vivos, incluyendo aquellos que quedan fuera del rango de escucha perceptible del humano, como los que emiten diversos insectos o murciélagos, entre otras especies. Finalmente, antropofonía es todo sonido originado por el humano, desde la música hasta el ruido del tránsito. Esta catalogación ha permitido asociarse transversalmente con distintas disciplinas de interés como lo son la preservación medioambiental, desarrollo tecnológico, entre otros. El acercamiento "interdisciplinario... que el paisaje sonoro proporciona en su propio contexto, lugar, tiempo, cultura, política, social y ambientalmente al presentarse en un contexto nuevo y, a menudo, completamente diferente al original" (Westerkamp, 2002, p.52) facilita el análisis y estudio del contenido así como del contexto de cada uno de los paisajes sonoros analizados.

Varios autores han elaborado obras tanto artísticas, como de investigación científica empleando diferentes desarrollos tecnológicos durante la realización del paisaje sonoro, así como diversas estrategias en su grabación. Por ejemplo, dentro de la obra *The Great Animal Orchestra* de Bernie Krause se aprecia una colección de múltiples paisajes sonoros recolectados alrededor del planeta. Bernie Krause (2002) describe su interés por grabar lugares únicos e inalterados. "Busco sitios raros y tranquilos, configuro mi equipo, me siento en silencio y pacientemente durante horas, espero que esta sinfonía del mundo natural se desarrolle ante mí, todo para capturar esos

preciosos momentos en una cinta" (p. 27). Las prácticas e intenciones estéticas que se observan en Krause generan archivos histórico-sonoros que adquieren un gran valor para comparar diferentes fenómenos, como el impacto de la actividad humana en los distintos ecosistemas, convirtiendo a estas grabaciones sonoras en un vestigio histórico del comportamiento de un lugar determinado a través del tiempo. El mismo autor relata sus observaciones cuando las aeronaves transitaron por la selva del Amazonas, transformando drásticamente el comportamiento de los seres vivos que allí habitan.

Una vez que se hizo una investigación acústica en la cuenca del Amazonas, un avión sobrevoló a baja altura sobre la selva, alterando el canto de los pájaros e insectos donde estábamos grabando. Al regresar al laboratorio y examinar el efecto del ruido del avión en el paisaje natural sonoro, se descubrió que la interrupción indujo a muchas criaturas a dejar de vocalizar, mientras que otras alteraron sus patrones significativamente. (Krause, 2002, p.29)

Composición interdisciplinaria

El paisaje sonoro se relaciona de forma transversal con múltiples disciplinas así como con el desarrollo tecnológico que acompaña al arte musical, aportando a diferentes áreas de investigación como la escucha robótica, estrategias de censo, acústica, clasificación de fauna algorítmicamente, entre otras. Recientemente el paisaje sonoro se ha sumado a múltiples esfuerzos que permitan establecer mecanismos que mitiguen el impacto de las distintas actividades humanas en su entorno. Se han generado diferentes vínculos con áreas de investigación como la evolución asociada a la música y el sonido. Por ejemplo, el especialista David Dunn encuentra una "conexión entre la música y el comportamiento de comunicación animal que sugiere una continuidad evolutiva. Una de mis intuiciones es que la música es, en muchos sentidos, un vestigio de nuestras identidades de mamíferos y reptiles" (Dunn & Lampert, 1989, p.103). Dunn nos presenta un vínculo entre distintas especies no humanas y su relación con el sonido y la música en su desarrollo evolutivo cognitivo.

Esto ha permitido desarrollar distintas estrategias y mecanismos empleando tecnología, que van desde lo tradicional, como las capturas de audio, hasta el desarrollo de sistemas interactivos entre humanos y otras especies por medio del sonido. En todos estos casos el estudio del paisaje sonoro abre vías de interpretación y análisis del impacto que tiene el ser humano en su entorno, como el tránsito terrestre y aéreo o las líneas de electricidad que generan campos electromagnéticos, entre otros. El especialista Antonio Celis-Murillo, en su artículo "Using Soundscape Recordings to Estimate Bird Species Abundance, Richness, and Composition" (2009) describe estrategias para percibir la composición de la población de especies a través de la decodificación *ambisonics*, empleando micrófonos en diversos ángulos para capturar 360° de audio. Celis-Murillo (2009) afirma:

Una solución a estas limitaciones, siendo empleadas el uso de grabaciones de campo para censar aves. Se diseñó un sistema de grabación de paisajes sonoros [...], que combina un sistema de grabación de cuatro canales discretos en un sistema de reproducción cuadrifónica para el censado de las comunidades de aves. (Celis-Murillo *et al.*, p. 64)

Actualmente, el paisaje sonoro ha hecho uso de herramientas digitales enfocadas al reconocimiento auditivo de la fauna que son cada vez más asequibles (Mennill *et al.*, 2012). Un ejemplo de esto es el reconocimiento del canto de las aves por medio de algoritmos que emplean identificadores gestuales sonoros (Bardeli *et al.*, 2010). Nieto-Mora, en su artículo *Soundscape Characterization Using Autoencoders and Unsupervised Learning*, propone una estrategia de entrenamiento algorítmico sin supervisión, lo cual es una alternativa a la mayoría de los distintos desarrollos algorítmicos, los cuales son entrenamientos supervisados (Nieto-Mora *et al.*, 2024).

A través de la tecnología multicanal, como la de las grabadoras *ambisonics*, distintos investigadores han podido desarrollar diferentes estrategias para calcular un censo poblacional de la fauna. Un ejemplo es el método desarrollado por Hedley *et al.* quien hace uso del cálculo de la dirección de llegada del sonido para realizar dicho censo (Hedley *et al.*, 2017). Otro ejemplo de interdisciplinariedad se puede observar en la obra *Mimus Polyglottos* de David Dunn cuya elaboración consta de dos partes. La primera es clasificar y emular digitalmente los diferentes patrones sonoros encontrados en el canto del ceniztle. Posteriormente, son resintetizados y reproducidos en el hábitat natural de dicha especie. Dentro de las diferentes tareas llevadas a cabo en la elaboración de esta obra, se encuentra la catalogación manual de cada uno de los cantos de esta especie aviar, así como la digitalización de los patrones sonoros. Finalmente, *Mimus Polyglottos* se integra al proyectar los sonidos digitalizados, emulando a los patrones del canto del ceniztle, para que el ave reconozca sus propios patrones sonoros al ser proyectados digitalmente. David Dunn describe: “el proceso de composición fue generar un estímulo suficientemente cercano al propio canto del ave, desafiándolo en su capacidad imitativa. Utilicé una fuente de sonido electrónico y grabé la interacción en tiempo real” (1989, p. 100). La intención artística recae en registrar la interacción del ave al reconocer sus propios patrones de canto, interactuando con ellos. Esta obra fue realizada en la década del 1970, sin embargo aún se emplean estrategias similares de catalogación del canto de las aves al generar bases de datos empleadas en el reconocimiento algorítmico del canto aviar. En las estrategias de catalogación algorítmica se han formado bases de datos que contienen múltiples cantos de aves para ser comparados, generando novedosas estrategias de censo y catalogación, con la ayuda de la inteligencia artificial o el reconocimiento algorítmico. No obstante, aún existen problemas difíciles de solucionar. Básicamente, la metodología de extraer, aislar y procesar manualmente el canto de las aves empleada por Dunn continúa siendo la misma. El ejemplo que brinda la obra de Dunn permite estudiar correspondencias sutiles entre objetos sonoros, resultantes del análisis del canto de las aves. Esta obra ofrece evidencia de cómo el ave es capaz de reconocer su propio canto, aunque es claro que los sonidos son digitalizados. Más importante, esta obra nos permite observar interacciones entre humano y otros seres vivos, al obtener reacciones del ave a los sonidos emulados digitalmente por el artista.

Relevancia del entorno y momento seleccionado a grabar

La selección del lugar así como del momento de captura cobran igual importancia que la selección de la tecnología utilizada en la grabación del paisaje sonoro. “Los estudios de paisajes sonoros [...] incluyen áreas rurales y silvestres, así como la escena urbana” (Porteous & Mastin, 1985, p. 171). Es importante considerar la locación a investigar

debido a que el entorno conformará y brindará los distintos elementos que integrarán acústicamente el paisaje sonoro así como los diferentes datos e información que proporcionen. Por ejemplo, el grabar un área urbana se compondrá de una mayor cantidad de sonidos antropónicos, si se compara con una rural. La selección del lugar, además de facilitar el estudio de la fauna encontrada en esa locación, brinda información sobre las distintas interacciones que surgen entre el ser humano y su entorno natural.

David Dunn relata su experiencia al realizar una investigación en el Gran Cañón, en el Estado de Colorado, en la que por medio del sonido de la trompeta se creó una interacción espontánea con la fauna encontrada en ese lugar. Si bien inicialmente su acercamiento era obtener respuestas reverberantes del cañón al excitarlas por la ejecución de tres trompetistas, pudo observar la reacción de los cuervos ante el sonido que emitían. Según su testimonio:

En el transcurso de 3 o 4 días ocurrió un evento que fue bastante inesperado, al menos para mí. Los trompetistas estaban muy separados unos de otros, tocando y escuchando estas estructuras reverberantes dentro del inmenso espacio abierto. Tres cuervos volaron. No habíamos visto ningún cuervo durante los días previos. Aparecieron tan pronto como las trompetas empezaron a tocar. Comenzaron a volar frente a los trompetistas, haciendo giros y todo tipo de acrobacias aéreas, graznando dentro y fuera de las trompetas e imitando tonos con las trompetas. (Dunn & van Peer, 1999, p. 63)

El ejemplo anterior nos brinda la posibilidad de observar la interacción del humano desde una postura estética al moldear el entorno sonoro por medio de la ejecución de los trompetistas interactuando con los cuervos. El paisaje sonoro nos permite obtener registros de ambientes inalterados o la interacción del humano con su entorno, lo cual abre el diálogo y la reflexión a diferentes problemas encontrados. Dunn nos permite comprender cómo el lugar y momento seleccionado es de suma importancia al igual que en diversas prácticas y métodos como las encontradas en Bernie Krause, las cuales contrastan con las de Dunn en una actitud más pasiva e imperceptible en el momento de la grabación.

Desafíos en el reconocimiento algorítmico del canto de las aves

El paisaje sonoro puede ayudar a rastrear aves sin molestarlas. También, puede decir qué especies de aves existen en un lugar en particular. Brinda alguna información sobre su patrón migratorio. Cada especie de pájaro tiene sus sonidos únicos. Ellos utilizan cantos de variada duración y complejidad para atraer parejas, advertir a otras aves del peligro cercano y marcar su territorio. (Dutt, 2021)

En términos generales, se denomina reconocimiento algorítmico al proceso de identificación de las vocalizaciones de las distintas aves por medio de herramientas digitales. En la ornitología existen especialistas capaces de clasificar las especies de aves y sus cantos, de acuerdo a la región o a las temporadas de apareamiento, como resultado de muchas horas de entrenamiento, por lo que la capacitación en esta tarea

suele ser ardua y lenta. Por ello, ha sido útil el desarrollo de aplicaciones capaces de reconocer y clasificar el canto de las aves. En la actualidad, el estudio del paisaje sonoro ha contribuido al perfeccionamiento de estrategias de reconocimiento algorítmico en la catalogación de la fauna que se encuentre en el paisaje sonoro capturado. Como ejemplo del desarrollo algorítmico se encuentra el *software* Raven, desarrollado por el Center for Conservation Bioacoustics de la Cornell University. Este es capaz de identificar y clasificar a numerosas especies de aves a través de grabaciones de audio, siendo de gran ayuda para censar y reconocer a las aves que habitan distintas locaciones. Este tipo de tecnología se encuentra en proceso de refinamiento y hay un amplio potencial para su uso y desarrollo. Actualmente, diferentes desafíos se encuentran en el perfeccionamiento de dicha tecnología, permitiendo la identificación y censo de las distintas aves. Priyadarshani *et al.* enumeran los distintos desafíos que se encuentran actualmente en dicha tarea:

Desglosamos el problema en cuatro áreas principales: pre-procesamiento (reducción de ruido, en particular), detección/segmentación de cantos (si bien estos dos términos a menudo se usan indistintamente, se diferencia la detección de canto al detectar los cantos falsos de grabaciones prolongadas, mientras que la segmentación incluye aislar esas llamadas de la grabación), elección de características y clasificación. (Priyadarshani *et al.*, 2018)

Lo descrito anteriormente ilustra cómo el reconocimiento algorítmico continúa siendo un proceso lento, debido a que requiere de dos etapas en que la intervención humana aún es imprescindible, es decir: seleccionar los diversos cantos que se encuentren en el paisaje sonoro para su catalogación y comparación. Sin embargo, la captura sonora del canto de las aves y su reconocimiento ha demostrado ser una de las menos invasivas en el esfuerzo por detectar y clasificar la fauna en general, permitiendo que especialistas de audio logren tener diferentes consideraciones al intentar mitigar problemas como la colocación de los micrófonos o la combinación de capturas sonoro-visuales (Frommolt *et al.*, 2014; Frommolt, 2017; Stepanian *et al.*, 2016; Rempel *et al.*, 2005). Cabe mencionar que como posibles soluciones de edición digital, se encuentran los filtros espectrales disminuyendo el ruido de fondo.

Uno de los métodos algorítmicos más comunes se basa en la comparación de una matriz espectral de correlación cruzada, en la que se compara sílabas utilizando la función de correlación, cuyo rango normalizado va desde la máxima similitud posible, hasta la menor posible (Charif *et al.*, 2010). Anteriormente, se han utilizado diferentes estrategias algorítmicas de aprendizaje supervisado aplicado al reconocimiento del habla, como es el análisis lineal; árboles de decisión; redes neuronales artificiales (ANN) emula redes neuronales biológicas por medio de nodos; cadenas de Markov ocultas (HMM) modelo estadístico que determina parámetros desconocidos; y finalmente las máquinas de soporte vectorial (SVM) arquitectura algorítmica de clasificación binaria de datos en dos categorías o clases diferentes. Todas estas estrategias han comprobado ser eficientes en la identificación automatizada del canto de las aves (Boddy *et al.*, 1994; Simmonds *et al.*, 1996; Acevedo y Villanueva-Rivera, 2006; Fagerlund, 2007).

Conclusiones

A lo largo de este artículo observamos al paisaje sonoro con un enfoque interdisciplinario vinculando arte y ciencia, reflejando el desarrollo de distintas tecnologías de grabación y reconocimiento algorítmico del canto de las aves, así como el estudio de la interacción que sucede entre seres humanos y otros seres vivos por medio del sonido. Nos hemos esforzado por introducir una visión amplia, desde su empleo como un recurso de expresión musical, creando vínculos interdisciplinarios que combinan arquitectura algorítmica enfocada en el reconocimiento del sonido, ornitología, entre otras. Actualmente ha surgido una efervescente actividad por la creación de diferentes bases de datos que contengan cantos para ser reconocidos por medio de la inteligencia artificial.

El desarrollo tecnológico vinculado al paisaje sonoro ha expandido nuestra comprensión del impacto sobre la fauna y los diferentes ecosistemas que han sido alterados debido a la actividad humana. Murray Schafer (1977) señala lo siguiente: "he advertido a muchos investigadores sobre los peligros de una propagación indiscriminada e imperialista de más y mayores sonidos en todos los rincones de la vida de la humanidad" (p. 3). La invasión auditiva del humano a lo largo del planeta ha sido tan profunda y severa que, incluso, se han redefinido nuestros conceptos y relaciones sonoras con el entorno acústico.

El transitar tecnológico y su desarrollo por medio de distintas herramientas han permitido grabar cada vez con mayor fidelidad mejorando las condiciones de calidad de las diferentes grabaciones que se puedan obtener. Al contextualizar las posibilidades tecnológicas de captura de audio en el momento que surge la *música concreta* en comparación con las actuales, se señala no solo el desarrollo en torno a la fidelidad de grabación y reproducción, sino además a la expansión de sistemas multicanales. Vinculándose directamente al desarrollo tecnológico, teniendo a la música concreta como un referente inicial, como ya se ha presentado anteriormente. El paisaje sonoro es una herramienta idónea en el análisis del impacto de la distinta actividad humana en los diferentes hábitats del planeta. Autores como Krause y Dunn permiten observar contrastantes estrategias y métodos que se encuentran en torno a la producción del paisaje sonoro. Sin embargo, ambas figuras trabajan en comprender las distintas interacciones del ser humano con la naturaleza, a pesar de exponer métodos e intenciones artísticas contrastantes.

El paisaje sonoro ha permitido generar obras artísticas que integran herramientas tecnológicas, tanto de captura, síntesis y reproducción que conectan de forma interdisciplinaria áreas artísticas y científicas. Las distintas disciplinas asociadas al paisaje sonoro como el reconocimiento algorítmico del sonido, la clasificación del canto de las aves, y el desarrollo tecnológico de dispositivos de captura y grabación sonora han permitido que la comunidad artístico-científica encuentre puntos de colaboración en intereses comunes. Diferentes estrategias permiten analizar y comprender distintos problemas actuales como el desarrollo de estrategias menos invasivas en el censo de fauna. Adicionalmente, el paisaje sonoro crea obras artísticas que permiten generar estudios del entorno acústico y las diferentes condiciones de los lugares seleccionados para grabar. Esto posibilita estudiar el comportamiento e interacción de los diferentes seres vivos por medio del sonido. En la actualidad, el paisaje sonoro abre posibilidades creativas dentro de las prácticas artísticas expandiendo a nuevas formas

de escucha interdisciplinaria, como las obras que se han presentado anteriormente. Se debe considerar diferentes posibilidades durante la producción del paisaje sonoro, como la selección del entorno y el momento de captura, además de facilitar el posible reconocimiento algorítmico de la fauna que ocurra durante la captura y así generar una taxonomía que permita intercambiar conceptos que integren al paisaje sonoro con otras disciplinas con el objetivo de propiciar un lenguaje común que facilite encontrar enmiendas a los problemas actuales.

Finalmente, el estudio del paisaje sonoro debe ser comprendido como un área interdisciplinaria donde convergen diferentes áreas de estudio, aunque como se demostró en este artículo, pueden ser contrastantes en su acercamiento, desarrollo e intenciones estéticas. Sin embargo, la suma de todos estos esfuerzos ha permitido realizar estudios para observar interacciones entre diferentes especies a través del sonido. Una vez más, el trabajo de Antonio Celis-Murillo nos ejemplifica una como la tecnología multicanal es empleada en el reconocimiento de las aves, o la obra *Mimus Polyglottos* de David Dunn presenta un enfoque más concreto por analizar y resintetizar el canto de las aves encontradas en la naturaleza. De ese modo se han abierto prácticas creativas asociadas a la producción del paisaje sonoro resultando en una pluralidad de obras cuyos temas son tan variados como los lugares y momentos seleccionados, así como la tecnología usada en su realización. El paisaje sonoro es, pues, empleado como herramienta analítica por distintas áreas de interés asociadas y que giran en torno a esta disciplina.

Rol de autores Credit

PRV:	Administración del proyecto, Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Metodología, Visualización, Redacción del borrador inicial, Revisión y aprobación del manuscrito final para publicación.
JRS Y PRV:	Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Metodología, Visualización, Redacción del borrador inicial, Revisión y aprobación del manuscrito final para publicación.

Fuentes de financiamiento

Esta investigación ha sido financiada por el Programa de becas posdoctorales DGAPA-UNAM.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés económico, institucional o laboral.

Aspectos éticos

Se cumplió con las normas éticas, los códigos de conducta para la investigación realizada y los lineamientos de *Antec: Revista Peruana de Investigación Musical*.

Referencias

- Acevedo, M., y Villanueva-Rivera, L. (2006). Using automated digital recording systems as effective tools for the monitoring of birds and amphibians, *Wildlife Society Bulletin*, 34(1), 211–214. [https://doi.org/10.2193/0091-7648\(2006\)34\[211:UADRSA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2006)34[211:UADRSA]2.0.CO;2)
- Akiyama, M. (2010). Transparent Listening: Soundscape Composition's Objects of Study. *RACAR: Revue d'art Canadienne/ Canadian Art Review*, 35(1), 54–62. <http://www.jstor.org/stable/42630819>
- Bardeli, R., Wolff, D., Kurth, F., Koch, M., Tauchert K. H., & Frommolt, K. H. (2010). Detecting bird sounds in a complex acoustic environment and application to bioacoustic monitoring. *Pattern Recognition Letters*, 31(12), 1524–1534. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2009.09.014>
- Boddy, L., Morris, C., Wilkins, M., Tarran, G., y Burkill, P. (1994). Neural network analysis of flow cytometric data for marine phytoplankton species. *Cytometry*, 15(4), 283–93. <https://doi.org/10.1002/cyto.990150403>
- Celis-Murillo, A., Deppe, J. & Allen, M. (2009). Using Soundscape Recordings to Estimate Bird Species Abundance, Richness, and Composition. *Journal of Field Ornithology*, 80(1), 64–78.
- Charif, R.A., Waack, A.M. & Strickman, L. (2010). *Raven Pro 1.4 User's Manual*. Cornell Lab of Ornithology.
- Dunn, D. & Lampert, M. (1989). Environment, Consciousness, and Magic: An Interview with David Dunn. *Perspectives of New Music*, 27(1), 94–105. <https://doi.org/10.2307/833258>
- Dunn, D. & Van Peer, R. (1999). Music, Language and Environment. *Leonardo Music Journal*, 9, 63–67. <https://doi.org/10.1162/096112199750316820>
- Dutt, A. (2021, 4 de julio). Bird Song Classification using Siamese Networks and Dilated Convolutions. *Medium*. <https://towardsdatascience.com/bird-song-classification-using-siamese-networks-and-dilated-convolutions-3b38a115bc1>
- Farina, A., Gage, S. H., & Salutari, P. (2018). Testing the ecoacoustics event detection and identification (EEDI) approach on Mediterranean soundscapes. *Ecological Indicators*, 85, 698–715. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.073>
- Fagerlund, S. (2007). Bird Species Recognition Using Support Vector Machines. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2007, 1–8 <https://doi.org/10.1155/2007/38637>

- Frommolt, K.-H. (2017). Information obtained from long-term acoustic recordings: applying bioacoustic techniques for monitoring wetland birds during breeding season. *Journal of Ornithology*, 158(3), 659-668. <https://doi.org/10.1007/s10336-016-1426-3>
- Frommolt, K.-H., & Tauchert, K.-H. (2014). Applying bioacoustic methods for long-term monitoring of a nocturnal wetland bird. *Ecological Informatics*, 21, 4-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2013.12.009>
- García Castilla, J. D. (2017). "Musicología musical": la música y el sonido como medios de investigación crítica. *El oído Pensante*, 5(1), 5-30. <http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/oidopensante/article/view/7498>
- Hedley, R.W., Huang, Y., Yao., K. (2017). Direction-of-arrival estimation of animal vocalizations for monitoring animal behavior and improving estimates of abundance. *Avian Conservation & Ecology*, 12(1), 1524-1534. <https://doi.org/10.5751/ACE-00963-120106>
- Hold, T. (1971). Messiaen's Birds. *Music and Letters*, 52(2), 113-122. <http://www.jstor.org/stable/732949>
- Krause, B. (2002). The Loss of Natural Soundscapes. *Earth Island Journal*, 17(1), 27-29. <http://www.jstor.org/stable/43879008>
- Krause, B. (2013, junio). *The voice of the natural world* [Transcripción]. TED. www.ted.com/talks/bernie_krause_the_voice_of_the_natural_world/transcript#t-
- Liu, K. & Xie, B. (2021, 22-24 de octubre). *A Timbre Equalization Scheme for Spatial Ambisonics Reproduction* [Ponencia]. En B. Li y T. Li (Directores), 2021 IEEE 6th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP), Nanjing, China. <https://doi.org/10.1109/ICSIP52628.2021.9689017>
- Malham, D. G., & Myatt, A. (1995). 3-D Sound Spatialization using Ambisonic Techniques. *Computer Music Journal*, 19(4), 58-70. <https://doi.org/10.2307/3680991>
- Mennill, D. J., Battiston, M., Wilson, D. R., Doucet, S. M., & Foote, J. R. (2012). Field test of an affordable, portable, wireless microphone array for spatial monitoring of animal ecology and behaviour. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(4), 704-712. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00209.x>
- Nieto-Mora, D.A., Ferreira de Oliveira, M.C., Sánchez-Giraldo, C., Duque-Muñoz, L., Isaza-Narváez, C. y Martínez-Vargas, J.D. (2024). Soundscape Characterization Using Autoencoders and Unsupervised Learning. *Sensors (Basel Switzerland)*, 24, 1-21. <https://doi.org/10.3390/s24082597>
- Oliveros, P. (2007). My "American Music": Soundscape, Politics, Technology, Community. *American Music*, 25(4), 389-404. <https://doi.org/10.2307/40071676>

- Porteous, J. D. & Mastin, J. F. (1985). Soundscape. *Journal of Architectural and Planning Research*, 2(3), 169-186.
- Priyadarshani, N., Marsland, S. & Castro, I. (2018). Automated birdsong recognition in complex acoustic environments: a review. *Journal of Avian Biology*, 49(5). <https://doi.org/10.1111/jav.01447>
- Rempel, R. S., Hobson, K. A., Holborn, G., Elliott, J. & Van Wilgenburg, S. L. (2005). Bioacoustic monitoring of forest songbirds: interpreter variability and effects of configuration and digital processing methods in the laboratory. *Journal of Field Ornithology*, 76(1), 1-11. <https://doi.org/10.1648/0273-8570-76.1.1>
- Schafer, R. M. (1977). *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*. Destiny Books.
- Simmonds, J. E., Armstrong, F., & Copland, P. J. (1996). Species identification using wideband backscatter with neural network and discriminant analysis. *ICES Journal of Marine Science*, 53(2), 189-195. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1996.0021>
- Stepanian, P. M., Wainwright, C. E., Chilson, P. B., Horton, K. G., Hille, D. C., & Kelly, J. F. (2016). Extending bioacoustic monitoring of birds aloft through flight call localization with a three-dimensional microphone array. *Ecology and Evolution*, 6(19), 7039-7046. <https://doi.org/10.1002/ece3.2447>
- Truax, B. (2008). Soundscape Composition as Global Music: Electroacoustic music as soundscape. *Organised Sound*, 13(2), 103-109. <https://doi.org/10.1017/S1355771808000149>
- Westerkamp, H. (2002). Linking soundscape composition and acoustic ecology. *Organised Sound*, 7(1), 51-56. <https://doi.org/10.1017/S1355771802001085>