

BIOKĀU: SONIFICACIÓN DE RITMOS CIRCADIANOS PARA LA SENSIBILIZACIÓN SOBRE CACTÁCEAS EN PELIGRO DE EXTINCIÓN EN SAN LUIS POTOSÍ

BIOKĀU: SONIFICATION OF CIRCADIAN RHYTHMS FOR RAISING AWARENESS ABOUT ENDANGERED CACTI IN SAN LUIS POTOSÍ

JALIL FELIPE CERVANTES MARTÍNEZ
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México
<https://orcid.org/0009-0008-7532-8285>
jalil-chuen199@hotmail.com

Recepción: 28 de marzo de 2024

Aprobación: 30 de abril de 2024

DOI: <https://doi.org/10.36677/eot.v0i18.23205>

ANA MÓNICA DE JHESÚ GARCÍA GARCÍA
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México
<https://orcid.org/0000-0001-6613-6945>
ana.gg.90@outlook.com

RESUMEN

El arte como canal de comunicación ha permitido de manera efectiva la concientización con respecto a problemas ambientales como el cambio climático. Por consiguiente, este trabajo tuvo como objetivo sensibilizar a través de la música sobre la necesidad de la conservación de las especies cactáceas en peligro de extinción debido al cambio climático en San Luis Potosí. Para lograrlo fueron procesados los sonidos de 27 especies cactáceas del laboratorio natural El Jardín Botánico "El Izotal" como datos MIDI bajo la técnica de sonificación con el programa Reason Propellerhead 11. Los sonidos transformados en música fueron almacenados bajo el nombre de Biokāu en plataformas en línea como Spotify. Asimismo, se realizaron exposiciones en institutos culturales y científicos. Los resultados obtenidos mostraron una recepción e interés positivo en el público no especializado, instituciones y museos.

Palabras clave: sonificación, arte, música, museos, cambio climático

ABSTRACT

Art as a communication channel has effectively raised awareness regarding environmental problems such as climate change. Therefore, this work aimed to raise awareness through music about the need for the conservation of cactus species in danger of extinction due to climate change in San Luis Potosí. To achieve this, the sounds of 27 cactus species from the "El Izotal" Botanical Garden natural laboratory were processed as MIDI data using the sonification technique with the Reason Propellerhead 11 program. The sounds transformed into music were stored under the name Biokāu on online platforms such as Spotify. Likewise, exhibitions were held in cultural and scientific institutes. The results obtained showed a positive reception and interest by the non-specialized public, institutions, and museums.

Keywords: sonification, art, music, museums, climate change

JALIL FELIPE CERVANTES MARTÍNEZ,
ANA MÓNICA DE JHESÚ GARCÍA
GARCÍA

*Biokāu: Sonificación de ritmos
circadianos para la sensibilización
sobre cactáceas en peligro de extinción
en San Luis Potosí*

INTRODUCCIÓN

El Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) en su sexto reporte sobre mitigación (2022), destaca la importancia de los medios de comunicación utilizados por actores sociales como herramienta de concientización para hacer frente al cambio climático (Anderson, 2017; IPCC, 2022).

Sin embargo, al mismo tiempo describe la ineficiencia por la manipulación de intereses personales o la falta de capacitación por parte de los actores sociales (Steentjes *et al.*, 2017; Post y Ramírez, 2018; Geiger *et al.*, 2017; IPCC, 2022; Porter *et al.*, 2012; Monroe *et al.*, 2019; Dawson y Carson, 2020).

Asimismo, se reconoce la falta de habilidades y difusión monogámica por parte de los expertos y científicos para exponer el mensaje de manera eficiente a la comunidad no especializada, lo que disminuye la eficiencia y el alcance de la información (Walter *et al.*, 2019; Sanz y Cruz, 2019; Weingart *et al.*, 2000).

Por lo tanto, es evidente la necesidad de estrategias de comunicación que logren un cambio efectivo a nivel individual y colectivo en la sociedad (Rödder, 2017; Almiron y Moreno, 2022; IPCC, 2022; Sawe *et al.*, 2020). En este sentido, el arte ha sido una de las estrategias con mayor eficiencia de cambio y conciencia al exponer las necesidades de la naturaleza (Kahan, 2015; IPCC, 2022).

Wang *et al.* (2018) y Roosen *et al.* (2018) destacan que, el arte al expresar y comunicar las emociones como el coraje, el miedo y la culpa, generarán un sentimiento de cuidado con respecto al cambio climático, lo que permite conectarse y ver el problema no sólo como un objeto inanimado o ajeno a la sociedad. Por lo tanto, el arte mejora el interés por la ciencia y los problemas ambientales desde la conciencia, la atención, la reflexión, la inspiración, la imaginación, la experiencia y la empatía (Bentz, 2020; Monroe *et al.*, 2019; O'Brien, 2019; Chen, 2022).

Por otro lado, Bentz (2020) aborda el aprendizaje del cambio climático desde el arte a partir de tres maneras; en arte, con arte y a través de arte (*in, with, through*) (Tabla 1). En estos tres espacios el papel de los artistas forja un lugar de enseñar-aprender, y un punto de encuentro entre la ciencia y el público (Rödder, 2017; Monroe *et al.*, 2019; Bentz y O'Brien, 2019; Fairchild *et al.*, 2022; IPCC, 2022; Rödder y Pavenstädt, 2023). En este sentido, el arte se convierte en un canal de comunicación de pensamiento crítico desde una realidad compleja y los artistas en traductores (Roosen *et al.*, 2018).

JALIL FELIPE CERVANTES MARTÍNEZ,
ANA MÓNICA DE JHESÚ GARCÍA
GARCÍA

*Biokāu: Sonificación de ritmos
circadianos para la sensibilización
sobre cactáceas en peligro de extinción
en San Luis Potosí*

En arte (<i>In art</i>)	Con arte (<i>With art</i>)	A través del arte (<i>Through art</i>)
Arte como plataforma de presentación/ como comunicación. Características: Estético, atractivo y accesible comunicación del cambio climático.	El arte como facilitador del diálogo y el aprendizaje. Características: Participativo, experiencial, comprometido con la comunidad; orientado a procesos y objetivos.	El arte como medio de transformación. Características: Co-creación, transdisciplinaria, abierto; orientado al proceso

Tabla 1. *Compromiso climático en, con y a través del arte.* Elaboración propia con base en Bentz, 2020.

Por lo tanto, el trabajo (*work*) del arte como objeto de transición desde sus diferentes presentaciones de comunicación —historietas, metáforas, pintura, performance o música— (Roosen *et al.*, 2018), rompen la barrera de observar al cambio climático como un objeto lejano y deshumanizado (Bentz, 2020).

Por lo tanto, la música como práctica artística puede transmitir el mensaje de manera eficiente a través de técnicas como la sonificación (Mateos y López, 2023), técnica en donde John Cage (1961) y Alvin Lucier (1965) exploraron nuevas formas de representar datos a través del sonido como mapa de datos visuales, composiciones de fenómenos acústicos y retroalimentación de sonido de ondas cerebrales (DeLio, 1980; Straebel y Thoben, 2014; Ruiz del Olmo *et al.*, 2016).

Asimismo, a partir de las décadas de 1980 y 1990 con el avance de las computadoras personales y el desarrollo de softwares, surgieron programas de síntesis sonora y entornos de programación visual (Ruiz del Olmo *et al.*, 2016) como el *software* Max/MSP desarrollado por Miller Puckette (1991), el cual permitió a los artistas crear y manipular el sonido en tiempo real.

De esta manera, la sonificación de datos en el arte se ha convertido en una herramienta para explorar y comunicar información a través del sentido auditivo. Los artistas utilizan técnicas de mapeo y síntesis sonora para traducir datos en experiencias sonoras inmersivas para explorar una amplia gama de temas de ciencia e investigación que involucran el medio ambiente, las ciencias sociales y culturales, estudios forenses, periodismo y educación (Lenzi *et al.*, 2020; Winnie, Richards y Chet, 2023).

En este sentido, los artistas han desarrollado instalaciones interactivas y performances en vivo donde los datos generados por la presencia y acciones del público se transforman en sonido. Esto crea una experiencia única y participativa en la que los espectadores experimenten y reflexionen sobre los datos de una manera más inmersiva (Ruiz del Olmo *et al.*, 2019).

A nivel internacional se ha utilizado la sonificación de datos para usos generativos —enfoque musical en donde la fuente de datos no importa, busca crear nuevo material musical—, usos curatoriales —datos articulados en un argumento lógico para juzgar si

JALIL FELIPE CERVANTES MARTÍNEZ,
ANA MÓNICA DE JHESÚ GARCÍA
GARCÍA

*Biokāu: Sonificación de ritmos
circadianos para la sensibilización
sobre cactáceas en peligro de extinción
en San Luis Potosí*

la sonificación es o no correcta en función de un argumento científico— y usos alusivos —fuente de datos desde la experiencia directa, ligados al contexto, revela información verídica pero no en función de un argumento científico— (Segarra *et al.*, 2018; Milad y Wilson, 2022).

Se destacan proyectos utilizados para sonificación de datos biológicos como Genoma Music (2005), para sonificar secuencias genéticas de ADN (Sánchez, *et al.*, 2005), así como *DNA Sonification* (2017) del biólogo Mark Temple (2017), el *Gene2music* de Takahashi y Miller (2007), el cual sonifica proteínas con el uso de inteligencia artificial, y *Trees: Pinus sylvestris* (2016), que sonifica árboles para reflexionar sobre el cambio climático.

En cuanto a México, se destaca el proyecto de la artista Leslie García *Pulsu(m) Plantae* (2012), el *Espejo plasmath* (2018) del investigador Ariel Guzik, y *EL SONIDO DE LA VIDA VEGETAL: Sonificación de genes MADS-box involucrados en el ciclo de vida de Arabidopsis thaliana* de Aketzalli Rueda Flores (2019).

Cabe destacar, que la fidelidad de esta información aún requiere de estudios que esclarezcan la complejidad de la sonificación desde la ciencia del sonido para obtener estos datos. Hasta ahora, la documentación se inclina a un mapeo de sonificación que permite una imagen holística para proyectar de manera simbólica o metafórica los datos científicos para mejorar la comunicación y el aprendizaje con respecto al cambio climático (Sawe *et al.*, 2020; Lindborg, *et al.*, 2023).

Con base en lo anterior, es evidente la necesidad del uso de técnicas de comunicación que permitan visibilizar espacios amenazados por el cambio climático como el Estado de San Luis Potosí (INECC, 2022), el cual es considerado el sitio con mayor número de especies cactáceas endémicas y no endémicas amenazadas a nivel mundial (SEMARNAT, 2023a; PROFEPA, 2010).

Las principales amenazas que enfrentan estas especies por eventos hidrometeorológicos extremos son la deforestación, las tormentas, los ciclones tropicales, las inundaciones, el aumento en la temperatura, las sequías, la desertificación y condiciones indirectas como el saqueo por turistas (Méndez *et al.*, 2011; Miranda *et al.*, 2013; Velázquez *et al.*, 2017; Martínez y Noyola, 2018; SEMARNAT, 2023b; INECC, 2023).

Sin embargo, a pesar de la eminente amenaza de estas especies, los trabajos con respecto a la sonificación de datos en conservación y educación ambiental aún son mínimos en San Luis Potosí. Sin mencionar la nula participación de proyectos que integren el arte como herramienta o técnica de comunicación.

De esta manera, este trabajo tiene como objetivo proponer la sonificación de ritmos circadianos como un canal de comunicación para sensibilizar a la población sobre la extinción de especies cactáceas por cambio climático en San Luis Potosí.

JALIL FELIPE CERVANTES MARTÍNEZ,
ANA MÓNICA DE JHESÚ GARCÍA
GARCÍA

*Biokãu: Sonificación de ritmos
circadianos para la sensibilización
sobre cactáceas en peligro de extinción
en San Luis Potosí*

METODOLOGÍA

El primer paso para identificar las especies cactáceas amenazadas por el cambio climático en San Luis Potosí se consideró la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. En total se obtuvieron 27 especies de las cuales 18 son endémicas: 1. *Aporocactus flagelliformis*, 2. *Ariocarpus fissuratus ssp bravoanus*, 3. *Ariocarpus kotschoubeyanus*, 4. *Ariocarpus retusus*, 5. *Astrophytum myriostigma*, 6. *Astrophytum ornatum*, 7. *Coryphantha clava ssp stipitata*, 8. *Cumarinia odorata*, 9. *Echinocactus horizonthalonius*, 10. *Echinocereus pulchellus*, 11. *Epithelantha micromeris*, 12. *Ferocactus histrix*, 13. *Ferocactus pilosus*, 14. *Leuchtenbergia principis*, 15. *Lophophora williamsii*, 16. *Mammillaria aureilanata ssp alba*, 17. *Mammillaria bocasana*, 18. *Mammillaria decipiens*, 19. *Mammillaria schiedeana ssp dumetorum*, 20. *Mammilloidia candida*, 21. *Pelecyphora aselliformis*, 22. *Pelecyphora strobiliformis*, 23. *Pilosocereus cometes*, 24. *Thelocactus tulensis*, 25. *Turbinicarpus gielsdorffianus*, 26. *Turbinicarpus pseudopectinatus*, y 27. *Wilcoxia poselgeri* (SEMARNAT, 2010).

Las muestras se tomaron en septiembre de 2022 con especies presentes en el Jardín Botánico “El Izotal” en el municipio de San Luis Potosí (Arredondo y Sánchez, 2007a). Este jardín ex situ contiene alrededor de 1000 especies, de las cuales 84 se encuentran en peligro de extinción, lo que permitió recrear el hábitat original para las especies utilizadas (Arredondo y Sánchez, 2007b).

SONIFICACIÓN DE RITMOS CIRCADIANOS

Una vez identificadas las especies, se analizaron las señales sonoras a través de los patrones de los ritmos circadianos para ser audibles por los humanos a través del protocolo de datos MIDI (Interfaz Digital de Instrumentos Musicales), que son un conjunto de instrucciones que permite a los instrumentos musicales electrónicos comunicarse entre sí (Zhang y Sui, 2017).

Los datos MIDI son creados en una estación de trabajo digital y enviados a otro dispositivo MIDI para su reproducción y manipulación a través de estaciones de trabajo digital o DAW (Digital Work Station). Las estaciones a través de grabaciones, edición de música, equalizadores, mezcladora y una interface, permite visualizar en tiempo real los instrumentos que se reproducen y forman parte de la composición (Rothsein, 1992).

De esta forma, se utilizó el programa Reason Propellerhead 11 con instrumentos digitales al interior del programa para la manipulación de los datos MIDI. Los sintetizadores nativos de Reason como Europa Shapeshifting Synthesizer, Grain Sample Manipulator, y Thor Polysonic Synthesizer modificaron los valores a través del proceso de síntesis modular por medio de otros valores —osciladores, amplificación, envelope, y filtros—. Cada uno altera una propiedad distinta del sonido, lo que produce variaciones en el sonido resultante (Nishino, Osaka y Nakatsu, 2015).

De esta forma, el proceso técnico, aunado a la adición de arpegiadores y efectos sonoros como reverberación, y *delay*, produjeron la composición de cada pieza musical (Vail, 2014). Cabe destacar que se modificó el sonido de los sintetizadores, pero no los datos emitidos por las especies que presentaron variaciones de nota respecto a cada especie.

PLATAFORMAS ONLINE Y DIFUSIÓN

Debido a que la música, como práctica artística para la comunicación tiene la habilidad de transmitir mensajes ambientales (Publicover *et al.*, 2018), resulta pertinente apelar a plataformas de distribución global que le permitan a la sonificación un alcance internacional y cercano a la sociedad. Por esta razón, se dieron de alta los registros biométricos convertidos en música con el nombre de “Biokāu” a través de plataformas sociales como Apple Music, Amazon Music, YouTube Music, Tidal y Spotify (Spotify, 2024).

Asimismo, para la distribución de este material desde las diferentes plataformas online, se realizaron charlas y presentaciones artísticas bajo el nombre del proyecto “Biokāu” con el seudónimo de “Jaxcan”.

RESULTADOS

Los registros eléctricos de las 27 especies de cactáceas permitieron apreciar las variaciones de los patrones gráficos que generó cada planta. Los datos MIDI se modificaron con el uso de sintetizadores digitales y las notas musicales reproducidas por el programa. Asimismo, se determinó el valor de las notas —grave o aguda— y el patrón rítmico y la duración por cada nota a nivel temporal (Imagen 1).

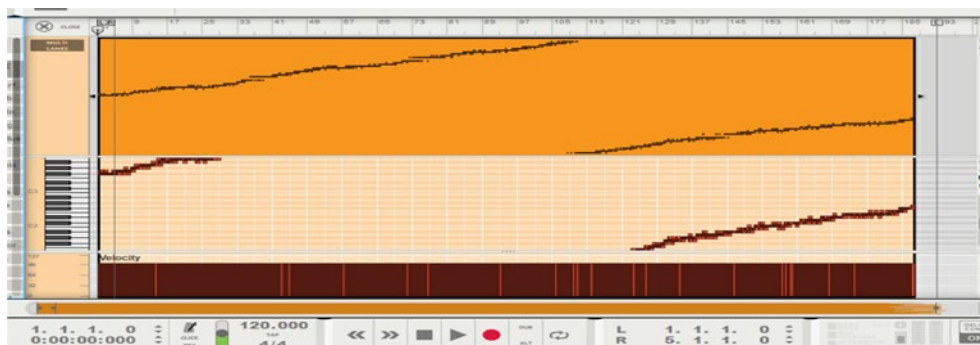


Imagen 1. Ejemplo del Patrón Gráfico de Registro MIDI de la especie *Pelecyphora aselliformis*. Elaboración propia.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

JALIL FELIPE CERVANTES MARTÍNEZ,
ANA MÓNICA DE JHESÚ GARCÍA
GARCÍA

*Biokāu: Sonificación de ritmos
circadianos para la sensibilización
sobre cactáceas en peligro de extinción
en San Luis Potosí*

En cuanto a la difusión y comunicación en plataformas online como Spotify, de enero a agosto del 2023, el proyecto conto con 30463 reproducciones en más de 25 países, y más de 50 ciudades a nivel global (Imagen 2) en países como México y Estados Unidos, lo que destaca la apertura previa a este tipo de proyectos (Sawe *et al.*, 2020). De esta manera, se confirma lo propuesto por IPCC (2022) sobre el alcance de comunicación a través del arte (Bilandzic *et al.*, 2017).



Imagen 2. Estadísticas de artista “Jaxcan” del mes de agosto 2023. Spotify Artist, 2023.

Asimismo, los resultados destacaron lo propuesto por Bentz, 2020, sobre la participación de la sociedad “con arte y a través de arte” (*in, with, through*). Las instituciones y los espectadores experimentaron y mostraron interés de manera cercana el problema de cambio climático a través de la música (Ruiz del Olmo *et al.*, 2019; Rödder, 2017; Monroe *et al.*, 2019).

Por otra parte, el proyecto compenetró otras dimensiones espaciales y territoriales debido a la flexibilidad de la música. De esta manera, los resultados fueron promovidos en otros espacios de interés y aprendizaje cultural y científico como el Museo de Arte Contemporáneo (MAC) bajo el proyecto del International Council of Museums (ICOM), así como el Teatro del Centro de Difusión Cultural Raúl Gamboa del Instituto Potosino de Bellas Artes (Sanz y Cruz, 2019; Weingart *et al.*, 2000; Ruiz del Olmo *et al.*, 2019).

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

JALIL FELIPE CERVANTES MARTÍNEZ,
ANA MÓNICA DE JHESÚ GARCÍA
GARCÍA

Biokāu: Sonificación de ritmos circadianos para la sensibilización sobre cactáceas en peligro de extinción en San Luis Potosí

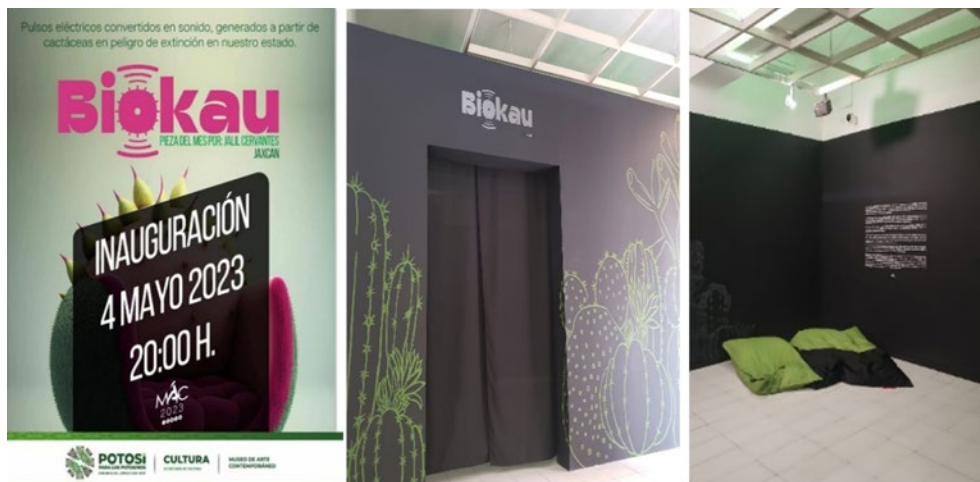


Imagen 3. Proyecto “Biokāu” expuesto como pieza del mes en el Museo de Arte Contemporáneo de la Ciudad de San Luis Potosí. Secretaría de Cultura del Gobierno del Estado de San Luis Potosí, 2023.

En este tenor, como lo destaca Wang *et al.* (2018), la condición de las cactáceas en San Luis Potosí con respecto al cambio climático no fue un objeto inanimado dentro de estos espacios al involucrar otros sentidos desde los sonidos y la música elaborada por la experimentación sintetizada por los datos MIDI en las plantas.

Cabe destacar que, el vínculo con las instituciones se dio por la necesidad de cubrir la agenda de la ICOM debido a que el proyecto Biokāu se enlazó con las temáticas de Desarrollo Sostenible y Bienestar propuestas por la ICOM, lo que destaca la necesidad de proyectos adecuados en materia de educación ambiental con respecto al cambio climático (Publicover *et al.*, 2018).

CONCLUSIÓN

La sonificación como herramienta de comunicación permitió de manera eficiente atraer la atención de las personas con respecto al problema de conservación de las cactáceas y el cambio climático en San Luis Potosí.

La música como manifestación artística permite traspasar barreras y trasladar la información de laboratorios naturales a espacios culturales.

Es necesario realizar más estudios para identificar el nivel de impacto y conciencia en el público para conocer el nivel de alcance en la recepción de obras artísticas contemporáneas de carácter ambiental.

JALIL FELIPE CERVANTES MARTÍNEZ,
ANA MÓNICA DE JHESÚ GARCÍA
GARCÍA

*Biokāu: Sonificación de ritmos
circadianos para la sensibilización
sobre cactáceas en peligro de extinción
en San Luis Potosí*

REFERENCIAS

- Almiron, N. y Moreno Cabezedo, J. A. (2022). Más allá del negacionismo del cambio climático. Retos conceptuales al comunicar la obstrucción de la acción climática. *Ámbitos: Revista internacional de comunicación*, (55), 9-23. <https://idus.us.es/handle/11441/129308>
- Anderson, A. A. (2017). Effects of social media use on climate change opinion, knowledge, and behavior. En *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*.
- Arredondo, A. y Sánchez, F. (2007a). Ensayo de plantación de ferocactus pilosus (biznaga roja o cabuchera) en San Luis Potosí. *Folleto para Productores* (48). SAGARPA-INIFAP; Centro de Investigación Regional del Noreste. Campo Experimental San Luis.
- Arredondo, A. y Sánchez, F. (2007b). *Guía Técnica para la protección y rescate de cactáceas por eventos de perturbación*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/168.pdf>
- Bentz, J. (2020). Learning about climate change in, with and through art. *Climatic Change*, 162(3), 1595-1612. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-020-02804-4>
- Bentz, J. y O'Brien, K. (2019). Art for Change: Transformative learning and youth empowerment in a changing climate. *Elementa: Science of the Anthropocene*, (7). <https://online.ucpress.edu/elementa/article-abstract/doi/10.1525/elementa.390/112520>
- Bilandzic, H., Kalch, A. y Soentgen, J. (2017). Effects of goal framing and emotions on perceived threat and willingness to sacrifice for climate change. *Science Communication*, 39(4), 466-491.
- Chen, M. H. (2022). La contribución del arte a la comunicación sobre el cambio climático. *Revista Humanidades: Revista de la Escuela de Estudios Generales*, 12(2), 3. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8571775>
- Dawson, V. y Carson, K. (2020). Introducing argumentation about climate change socioscientific issues in a disadvantaged school. *Research in Science Education*, (50), 863-883. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11165-018-9715-x>
- DeLio, T. (1980). John Cage's Variations II: The Morphology of a Global Structure. *Perspectives of New Music*, 19(1/2), 351-371. <https://doi.org/10.2307/832599>
- Fairchild, E., Davies, T., Taylor, M. y Osborn, T. (2022). *A Climate Mural for Our Times: Global Science, Local Expression: The Story Behind the Mural*. https://ueaeprints.uea.ac.uk/id/eprint/92008/1/Story_behind_the_mural_a_Climate_Mural_for_our_Times_lowres.pdf
- Fairless, D. (2007). Genes come alive with the sound of music. *Nature* <https://doi.org/10.1038/news070430-7>
- García, L. (2012). *Pulsu(m) Plantae*. <https://lessnullvoid.cc/pulsum/>
- Geiger, N., Swim, J. K. y Fraser, J. (2017). Creating a climate for change: Interventions, efficacy and public discussion about climate change. *Journal of Environmental Psychology*, (51), 104-116. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272494417300440>
- INECC (2022). *Proyecciones de Cambio Climático y Fichas Climáticas por Estados y Municipios vulnerables*. https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/Proyecciones/img/24_Ficha.pdf

JALIL FELIPE CERVANTES MARTÍNEZ,
ANA MÓNICA DE JHESÚ GARCÍA
GARCÍA

*Biokāu: Sonificación de ritmos
circadianos para la sensibilización
sobre cactáceas en peligro de extinción
en San Luis Potosí*

- INECC (2023). *Visión estatal: Vulnerabilidad, riesgos y peligros*. https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/Vulnerabilidad/V_24.html
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2022). *Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Publicover, J., Tarah, S., Wright, S. y Duinker, P. (2018). Music as a tool for environmental education and advocacy: artistic perspectives from musicians of the Playlist for the Planet. *Environmental Education Research*, 24(7), 925-936. <https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1365356>
- Kahan, D. M. (2015). Climate-science communication and the measurement problem. *Political Psychology*, (36), 1-43. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/pops.12244?casa_token=-pAHBfoHLaYAAAAA:11c6Bs7MGh1FxlTkO5oWjH25NBfjpV99rwo_AaEJCZQlorLBvIGR6N4ZtRgTuWr98zr8zQt14M3dRdX4QQ
- Lenzi S., Ciuccarelli P., Liu H. y Hua Y. (2020). Data Sonification Archive. <http://www.sonification.design>.
- Lindborg, P., Lenzi, S., y Chen, M. (2023). Climate data sonification and visualization: An analysis of topics, aesthetics, and characteristics in 32 recent projects. *Frontiers in Psychology*, (13). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1020102>
- Martínez, V., y Noyola, C. (2018). *Cambios en la vegetación y la temperatura superficial para la zona altiplano del estado de San Luis Potosí (México), a partir del análisis multitemporal de imágenes Landsat*. https://www.researchgate.net/profile/Cristina-Noyola-Medrano/publication/285769686_CAMBIOS_EN_LA_VEGETACION_Y_LA_TEMPERATURA_SUPERFICIAL_PARA_LA_ZONA_ALTIPLANO_DEL_ESTADO_DE_SAN_LUIS_POTOSI_MEXICO_A_PARTIR_DEL_ANALISIS_MULTITEMPORAL_DE_IMAGENES_LANDSAT/links/5767f56208aedbc345f79124/CAMBIOS-EN-LA-VEGETACION-Y-LA-TEMPERATURA-SUPERFICIAL-PARA-LA-ZONA-ALTIPLANO-DEL-ESTADO-DE-SAN-LUIS-POTOSI-MEXICO-A-PARTIR-DEL-ANALISIS-MULTITEMPORAL-DE-IMAGENES-LANDSAT.pdf
- Mateos, D., y López, A. (2023). Sonificación y periodismo: La representación de datos mediante sonidos. *Revista de Comunicación*, (22). <https://doi.org/10.26441/RC22.1-2023-3022>.
- Méndez, U. R., Ríos, J. J. M., Castellano, E., Pérez, R. F. M., Padilla, S. B., Martínez, R. A. y Czaja, A. (2011). *Análisis preliminar de la distribución geográfica de la cactácea *Astrophytum myriostigma* Lem.* https://www.researchgate.net/profile/Ulises-Romero-Mendez/publication/248703291_ANALISIS_PREELIMINAR_DE_LA_DISTRIBUCION_GEOGRAFICA_DE_LA_CACTACEA_Astrophytum_myriostigma_Lem_1839/links/00b4951e0b431ba320000000/ANALISIS-PREELIMINAR-DE-LA-DISTRIBUCION-GEOGRAFICA-DE-LA-CACTACEA-Astrophytum-myriostigma-Lem-1839.pdf
- Milad K., M. y Wilson, S. (2022). A Strata-Based Approach to Discussing Artistic Data Sonification. *Leonardo*, 55 (5), 516-520. https://doi.org/10.1162/leon_a_02257

- Miranda, L., Treviño, E. J., Jiménez, J., Aguirre, O. A., González, M. A., Pompa, M. y Aguirre, C. A. (2013). Tasa de deforestación en San Luis Potosí, México (1993-2007). *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(2), 201-215. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182013000200003
- Monroe, M. C., Plate, R. R., Oxarart, A., Bowers, A. y Chaves, W. A. (2019). Identifying effective climate change education strategies: A systematic review of the research. *Environmental Education Research*, 25(6), 791-812. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13504622.2017.1360842>
- Nishino, H., Osaka, N. y Nakatsu, R. (2015). The Microsound Synthesis Framework in the LC Computer Music Programming Language. *Computer Music Journal*, 39(4), 49-79. <http://www.jstor.org/stable/43829291>
- O'Brien, K. (2018). Is the 1.5 C target possible? Exploring the three spheres of transformation. *Current opinion in environmental sustainability*, (31), 153-160. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.04.010>
- Porter, D., Weaver, A. J. y Raptis, H. (2012). Assessing students' learning about fundamental concepts of climate change under two different conditions. *Environmental Education Research*, 18(5), 665-686. <https://doi.org/10.1080/13504622.2011.640750>
- Post, S. y Ramírez, N. (2018). Politicized science communication: Predicting scientists' acceptance of overstatements by their knowledge certainty, media perceptions, and presumed media effects. *Journalism & Mass Communication Quarterly*, 95(4), 1150-1170. https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1077699018769668?casa_token=cJnfvHs2XwAAAAA:d5IWDsEINgHZq5e5enil-NkluMMh_6eYPuEni97sF8TMeP-1KLqZh5nyOC5h2ELT6Y5qxsMrPjgWOG
- PROFEPA (2010). *NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf
- Puckette, M. (1991). Combining Event and Signal Processing in the MAX Graphical Programming Environment. *Computer Music Journal*, 15(3), 68-77. <https://doi.org/10.2307/3680767>
- Rödder, S. (2017). The climate of science-art and the art-science of the climate: Meeting points, boundary objects and boundary work. *Minerva*, (55), 93-116. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11024-016-9312-y>
- Rödder, S. y Pavenstädt, C. N. (2023). 'Unite behind the Science!' Climate movements' use of scientific evidence in narratives on socio-ecological futures. *Science and Public Policy*, 50(1), 30-41. <https://doi.org/10.1093/scipol/scac046>
- Roosen, L. J., Klöckner, C. A., y Swim, J. K. (2018). Visual art as a way to communicate climate change: a psychological perspective on climate change-related art. *World Art*, 8(1), 85-110
- Rothsein, J. (1992). *Understanding MIDI: The Implementation of musical instruments digital interface*. A-R Editions. https://archive.org/details/midicomprehensivoooroth_2

- Rueda F., A. (2019). *El sonido de la vida vegetal: Sonificación de genes MADS-box involucrados en el ciclo de vida de Arabidopsis thaliana* [tesis de maestría], Universidad Nacional Autónoma de México. https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/F7CLTA4HCA91VC19481BI7TD86BVBQKBBNF8NUFHTGE515G51Y-09690?func=find-b&local_base=TESO1&request=el+sonido+de+la+vida+vegetal&find_code=WRD&adjacent=N&filter_code_2=WYR&filter_request_2=&filter_code_3=WYR&filter_request_3=
- Ruiz del Olmo, F., Vertedor-Romero, J. y Alonso Calero, J. (2019). Creación sonora y nuevas tendencias artísticas en el siglo XXI: Algoritmos, música electrónica y Algorave. *Arte, Individuo y Sociedad*, (31). <https://doi.org/10.5209/ARIS.60825>
- Ruiz del Olmo, F., Vertedor-Romero, J. y Alonso Calero, J. (2016). *Procesos, herramientas y prácticas de la Sonificación*. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.4238738>
- Sánchez S., A., Baquero, F. y Nombela, C. (2005). The making of The Genoma Music. *Revista Iberoamericana de Micología*, 22(4), 242-248. [https://doi.org/10.1016/S1130-1406\(05\)70050-4](https://doi.org/10.1016/S1130-1406(05)70050-4)
- Sanz, M., L. y Cruz, C., L. (2019). The credibility of scientific communication sources regarding climate change: A population-based survey experiment. *Public Understanding of Science*, 28(5), 534-553. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0963662519840946>
- Sawe, N., Chafe, C. y Treviño, J. (2020). Using data sonification to overcome science literacy, numeracy, and visualization barriers in science communication. *Frontiers in Communication*, 5(46). <https://doi.org/10.3389/fcomm.2020.00046>
- Segarra, V. A., Natalizio, B., Falkenberg, C. V., Pulford, S. y Holmes, R. M. (2018). STEAM: Using the arts to train well-rounded and creative scientists. *Journal of microbiology & biology education*, 19(1), 19-1. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v19i1.1360>
- SEMARNAT (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental de Especies nativas de México de flora y fauna silvestre, Categorías de riesgo y especificación para su inclusión, exclusión o cambio, lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación* 1. 30 de diciembre de 2010.
- SEMARNAT (2023b). *Cómo afecta el cambio climático a México*. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/como-afecta-el-cambio-climatico-a-mexico>
- SEMARNAT (2023a). Cactáceas, riqueza natural de México. En línea: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/cactaceas-riqueza-natural-de-mexico>
- Spotify (2024). *¿Qué es Spotify?* <https://support.spotify.com/es/article/what-is-spotify/>
- Steenjtes, K., Pidgeon, N. F., Poortinga, W., Corner, A. J., Arnold, A., Böhm, G. y Tinnereim, E. (2017). *European Perceptions of Climate Change (EPCC): Topline findings of a survey conducted in four European countries in 2016*. <https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/98660/7/EPCC.pdf>
- Straebel, V. y Thoben, W. (2014). Alvin Lucier's Music for Solo Performer: Experimental music beyond sonification. *Organised Sound*, 19(1), 17-29. <https://doi.org/10.1017/S135577181300037X>

- Takahashi, R., y Miller, J. H. (2007). Conversion of amino-acid sequence in proteins to classical music: search for auditory patterns. *Genome biology*, (8), 1-4.
- Temple, M.D. (2017). An auditory display tool for DNA sequence analysis. *BMC Bioinformatics*, (18). <https://doi.org/10.1186/s12859-017-1632-x>
- Vail, M. (2014). *The synthesizer: a comprehensive guide to understanding, programming, playing, and recording the ultimate electronic music instrument*. Oxford University Press. [https://books.google.es/books?id=fFapAgAAQBAJ&lpg=PP1&dq=Vail%2C%20Mark%2C%20author.%20\(2014\).%20The%20synthesizer%20%3A%20a%20comprehensive%20guide%20to%20understanding%2C%20programming%2C%20playing%2C%20and%20recording%20the%20ultimate%20electronic%20music%20instrument.%20New%20York%20%3AOxford%20University%20Press&lr&hl=es&pg=PR3#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=fFapAgAAQBAJ&lpg=PP1&dq=Vail%2C%20Mark%2C%20author.%20(2014).%20The%20synthesizer%20%3A%20a%20comprehensive%20guide%20to%20understanding%2C%20programming%2C%20playing%2C%20and%20recording%20the%20ultimate%20electronic%20music%20instrument.%20New%20York%20%3AOxford%20University%20Press&lr&hl=es&pg=PR3#v=onepage&q&f=false)
- Velázquez-Zapata, J. A., Troin, M. y Dávila-Ortiz, R. (2017). Evaluación del impacto del cambio climático en los indicadores hidrológicos de una cuenca del centro de México con base en un ensamble de modelos climáticos y en el modelo hidrológico SWAT. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 18(3), 341-351. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432017000300341&script=sci_arttext
- Walter, S., Lörcher, I. y Brüggemann, M. (2019). Scientific networks on Twitter: Analyzing scientists' interactions in the climate change debate. *Public Understanding of Science*, 28(6), 696-712. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0963662519844131>
- Weingart, P., Engels, A. y Pansegrau, P. (2000). Risks of communication: discourses on climate change in science, politics, and the mass media. *Public understanding of science*, 9(3). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0963-6625/9/3/304/meta>
- Winnie, W., W., Richards, J. y Chet Udell, W. (2023). An Open IoT Weather Station and Data Sonification System. *HardwareX*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2023.e00402>
- Zhang, P. y Sui, X. (2017). Application of digital music technology in music pedagogy. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 12(12), 4-13. <https://www.learntechlib.org/p/182038/>