

# **Paisajes sonoros como aproximación al estudio del impacto de las actividades humanas en el ambiente antártico**

**Tesina de grado**

**Lucía Acosta Echeverría  
15/12/2023**

**Manejo de ecosistemas - Licenciatura en Gestión Ambiental  
Centro Universitario Regional Este - Sede Maldonado  
Universidad de la República**

**Docente Orientadora: Lucía Ziegler (CURE – UdelaR)  
Docente Co-Orientador: Álvaro Soutullo (CURE – UdelaR)**

**Departamento de Ecología y Gestión Ambiental**

## Índice

Resumen.....	4
Palabras Claves .....	4
Abstract.....	5
Keywords.....	5
1. Introducción .....	6
1.1. Paisaje sonoro.....	6
1.2. Paisajes sonoros en la gestión ambiental .....	6
1.3. La Antártida.....	7
1.4. Índices ecoacústicos para el estudio de impactos humanos sobre la vida silvestre.....	8
1.5. COVID-19 como oportunidad para el entender los impactos de las actividades humanas sobre los ecosistemas antárticos .....	9
1.6. Península Fildes e Isla Ardley .....	9
2. Objetivos .....	10
2.1 Objetivo general.....	10
2.2. Objetivos específicos .....	10
3. Metodología.....	10
3.1 Área de estudio y obtención de datos .....	10
3.2 Tratamiento de datos y análisis estadísticos.....	12
3.2.1 Caracterización de fuentes de sonido antrópico y su incidencia .....	12
3.2.2 Índices eco acústicos.....	12
3.2.3 Diferencias entre CAVs con distinta actividad humana.....	13
4. Resultados.....	13
4.1. Descripción de sonidos encontrados .....	13
4.1.1. Descripción cualitativa general.....	13
4.1.2. Descripción de las antropofonías identificadas .....	14
4.1.3. Tiempo ocupado por antropofonías segregado por CAVs y períodos de actividad.....	15
4.1.4 Diferencias de presencia y duración entre campañas.....	15
4.1.5 Diferencias entre categorías en las distintas campañas.....	16
4.2. Índices eco acústicos .....	17
4.2.1. Resultados del índice H.....	17
4.2.2. Resultados del índice ACI.....	18
4.2.3. Resultados del índice NDSI.....	18
5. Discusión .....	19
5.1. Antropofonías y su comportamiento .....	19

<b>5.2. Índices ecoacústicos .....</b>	<b>20</b>
<b>6. Aportes a la gestión ambiental .....</b>	<b>21</b>
<b>7. Bibliografía .....</b>	<b>23</b>

## **Resumen**

El análisis del paisaje sonoro contribuye a identificar el estado de los ecosistemas. Utilizar estos análisis para conocer los cambios en el paisaje sonoro generados por el impacto humano en la región antártica puede ser de utilidad para apoyar a la elaboración de herramientas de gestión y la toma de decisiones. El objetivo de este estudio fue conocer la composición del paisaje sonoro en Isla Ardley, Península Fildes, evaluando la incidencia del ruido antropogénico a lo largo de y entre, tres campañas antárticas con distinto nivel de actividad humana. Para esto se analizó la presencia de antropofonías y el tiempo que ocupaban, también se examinaron tres índices ecoacústicos (entropía total, complejidad acústica, diferencia normalizada) para complementar los análisis. El análisis de antropofonías evidenció que los sonidos con mayor presencia y duración en las tres campañas fue el derivado de (1) los generadores utilizados en las bases para la producción de energía eléctrica, (2) los aviones y (3) embarcaciones. En la campaña que coincide con el año COVID (2020/2021) se nota un marcado descenso de antropofonías en comparación a las otras campañas, el sonido que se mantiene presente es el generador. En el año post-COVID (2021/2022) se detectó un aumento notorio de las antropofonías, aunque aún no alcanza los niveles pre-COVID, probablemente esto esté reflejando un paulatino retorno al desarrollo de las actividades a momentos previos a las restricciones por COVID. Del análisis a través de índices ecoacústicos, se destaca el índice de diferencia normalizada del paisaje sonoro que mostro diferencias significativas entre campañas, siendo la campaña 2020/2021, la que tuvo menor presencia de sonidos antrópicos. Por lo que se destacó la funcionalidad de este índice en paisajes con gran influencia de geofonías, ya que esta característica parece no afectar su desempeño. Tomar el estudio del paisaje sonoro como lineamiento en las investigaciones sobre distintas áreas, incluidas las áreas protegidas, sería de utilidad para generar herramientas acordes a los niveles de protección que se requieran.

## **Palabras Claves**

Paisaje sonoro, Antártida, Antropofonías, Impactos humanos, Índices ecoacústicos, COVID-19, Áreas protegidas, ZAEP, Isla Ardley

## **Abstract**

Soundscape analysis contributes to identifying the state of ecosystems. This analysis can be used to understand the changes in the soundscape generated by human impact in the Antarctic region. In turn, this understanding can be useful to support the development of management tools and decision making. This study aims to determine the composition of the soundscape on Ardley Island, Fi des Peninsula, evaluating the incidence of anthropogenic noise throughout, and between, three Antarctic campaigns with different levels of human activity. For this, we analyzed the presence of anthropophonies and the time they occupied. The analysis was complemented with the examination of three ecoacoustic indices (total entropy, acoustic complexity and normalized difference). The analysis of anthropophonies shows that the sounds with the greatest presence and duration in the three campaigns were those derived from the (1) generators used in the bases to produce electrical energy, (2) airplanes and (3) boats. The campaign that coincides with the COVID year (2020/2021) shows a marked decrease in anthropophonies compared to the other campaigns, as the only sound that remains present is the generator. In the post-COVID year (2021/2022), we detected a notable increase in anthropophonies. However, it did not reach pre-COVID levels. This is likely reflecting a gradual return to the normal level of activities prior to restrictions due to COVID-19. The normalized difference index of the sound landscape stands out in the analysis through ecoacoustic indices. This index showed significant differences between campaigns, where the 2020/2021 campaign presented the least anthropic sounds. Therefore, we highlight the functionality of this index in landscapes with great influence of geophonies, since this characteristic does not seem to affect its performance. The study of the soundscape can be taken as a guideline in research on different areas, including protected areas, which would be useful to generate tools according to the levels of protection required.

## **Keywords**

Soundscape, Antarctic, Antropophonies, Human Impacts, Ecoacoustic indices, COVID-19, Protected areas, ASPA, Ardley Island.

## **1. Introducción**

### **1.1. Paisaje sonoro**

El paisaje sonoro está compuesto por la energía acústica total de un lugar determinado, incorporando las biofonías (sonidos producidos por animales), antropofonías (sonidos producidos por humanos y máquinas) y geofonías (sonidos de procesos naturales como el viento y la lluvia) (Pijanowski et al., 2011a). Analizar el paisaje sonoro puede proporcionar información sobre la estructura del hábitat, la presencia de condiciones climáticas particulares (e.g. tormentas, viento), el nivel de intervención humana a través de los sonidos de origen antrópico y su variación en el tiempo (Ross et al., 2021).

Cada paisaje tiene una firma acústica específica que es el resultado de la mezcla de todos los agentes acústicos físicos y biológicos. La medición de los sonidos emitidos desde un lugar puede proporcionar información muy variada, desde un censo poblacional hasta la evaluación de la calidad del paisaje para el bienestar humano (Farina & Gages, 2017). Estos paisajes pueden representar la condición del ecosistema, ya que los sistemas más diversos deberían exhibir un uso cada vez más complejo del espacio acústico. En consecuencia, los paisajes sonoros a menudo se consideran un indicador de varias características de las comunidades ecológicas, como, por ejemplo, su diversidad, abundancia y biomasa (Ross et al., 2021).

Los componentes del paisaje sonoro varían junto con factores ambientales como la temperatura, la elevación, la radiación, la humedad (Farina, 2014; Pijanowski et al., 2011b). La gestión de paisajes sonoros debe considerar tanto las fuentes sonoras específicas, así como todos los sonidos colectivamente. Un paisaje sonoro puede incluir sonidos producidos por la presencia de humanos y sus actividades. En algunos casos, estos sonidos agregan más complejidad al paisaje sonoro. Estos sonidos también pueden afectar a la fauna, así como el bienestar de los seres humanos. En este sentido, se plantea que los paisajes sonoros naturales, ya sean terrestres o marinos, pueden estar contaminados por el ruido producido por las actividades humanas (Farina & Gages, 2017). El estudio de esta interacción permite comprender cómo la actividad humana puede impactar la dinámica del paisaje sonoro y reflejar los impactos de la actividad humana en el ecosistema en general. Para evaluar este efecto es necesario considerar las geofonías como co-variables que también interactúan y afectan a las biofonías (Farina, 2014; Pijanowski et al., 2011b).

### **1.2. Paisajes sonoros en la gestión ambiental**

La gestión de ecosistemas se enfoca en comprender de forma interdisciplinaria la estructura, función y dinámica de los ecosistemas, así como en desarrollar estrategias y políticas para su conservación y manejo sostenible (Groom et al., 2006). En los últimos años se ha hecho hincapié en el potencial de las metodologías de paisajes sonoros para complementar estudios de sistemas adaptativos complejos. El estudio del paisaje sonoro utilizado como fuente de información no solo para conocer el estado del sistema, sino también como aporte a la gestión de ecosistemas donde el paisaje sonoro se puede tomar como lugar de interacción de procesos ecológicos y antropogénicos (Eldridge, 2021).

En la gestión de ecosistemas cuando se utiliza al sonido como herramienta se puede tomar a este como indicador, por ejemplo, para estimar la diversidad de organismos o para determinar las proporciones relativas de actividad humana y natural. También como indicador de estrés al examinar los efectos de la actividad humana en la comunicación de los animales durante funciones críticas, por ejemplo, reproducción, búsqueda de alimento y migración (Farina & Gages, 2017).

La ventaja de incluir la dimensión de paisaje sonoro en futuras investigaciones de ecología del paisaje y de gestión de áreas protegidas, por ejemplo, permite brindar más información sobre como los cambios que se van evidenciando en los paisajes sonoros podrían determinar cambios en las distintas dimensiones del entorno de cada especie (Pijanowski et al., 2011a; Farina & Gages, 2017; Laiolo, 2010). Cuando el componente acústico del hábitat se degrada, la comunicación y la detección acústica de los animales se degradan también. Por ejemplo, si la comunicación se interrumpe el sistema social puede volverse disfuncional (Farina & Gages, 2017).

Los resultados del análisis de la dimensión de paisaje también contribuyen a comprender qué tipo de políticas se deben implementar para poder proteger, conservar y gestionar el ambiente en todas sus dimensiones. Es interesante definir como distintos tipos de planificaciones políticas o de uso del espacio pueden influir en ese paisaje sonoro y aportar a la gestión ambiental en general (Pijanowski et al., 2011b).

### **1.3. La Antártida**

La Antártida es una reserva natural dedicada a la paz y la ciencia. Sin embargo, el calentamiento global, la contaminación y las actividades humanas que allí se desarrollan están amenazando el medio ambiente antártico, y esto ha atraído la atención de la comunidad internacional (Gao et al., 2021).

Dentro del continente y sus islas la mayor actividad humana se concentra en las áreas costeras libres de hielo, por lo que estas están cada vez bajo mayor presión (Pertierra et al., 2017; Gao et al., 2021). A su vez, algunas especies de vertebrados y plantas que componen la biodiversidad terrestre antártica se encuentran casi de forma exclusiva en áreas sin hielo (Lee et al., 2017), por lo que al concentrarse las actividades humanas aquí se ven afectadas algunas de las zonas más sensibles para la conservación de dicha biodiversidad (Brooks et al., 2018). Hasta 2017, se designaron 75 Zonas Antárticas Especialmente Protegidas (ZAEP) y siete Zonas Antárticas Especialmente Administradas (ZAEA) para proteger su valor único en la Antártida (Gao et al., 2021).

Las actividades humanas han ejercido una presión considerable sobre la Antártida a través de programas gubernamentales de investigación científica y actividades comerciales. Por ejemplo, las estadísticas de la Asociación Internacional de Operadores Turísticos Antárticos muestran que el número de turistas en la Península Antártica ha aumentado enormemente, de 159 en la temporada 2006/07 a 23.032 en la temporada 2017/18 (Gao et al., 2021).

La investigación sobre los distintos impactos humanos que se relevan en la región antártica es útil para la elaboración de políticas y para la toma de decisiones de gestión ambiental que pueden ayudar a minimizar o mitigar esos impactos (Tin et al., 2009). En el último tiempo se ha avanzado con las evaluaciones del estado de los ambientes antárticos y su biodiversidad. Aunque la participación política en las evaluaciones y el futuro de los ambientes antárticos están rezagados, se están desarrollando rápidamente. Por ejemplo, una de las últimas evaluaciones menciona cómo las bases antárticas y su infraestructura asociada impactan en las grandes áreas libres de hielo del continente (Chown & Brooks, 2019).

Hay buena evidencia proveniente de otras regiones y sistemas ecológicos de que el paisaje sonoro es un componente importante de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Barber et al., 2010; Shannon et al., 2016; Cross et al., 2021; Francis et al., 2017). Varios autores han descrito las distintas presiones antrópicas sobre el ecosistema antártico, y en ellos se nota la ausencia, que inclusive ha sido resaltada, de información sobre la contaminación sonora (Tin et al., 2009; Gao et al., 2021; Chown &

Brooks, 2019). En el trabajo monográfico “Mapeo Sistemático del sonido antrópico terrestre en la Antártida” (Acosta, 2021) se evidencia la falta de datos científicos sobre los umbrales de ruido permitidos en la Antártida y los impactos derivados de las fuentes sonoras de origen antrópico, especialmente en ambientes terrestres. No son claros los componentes de la biodiversidad antártica que se podrían ver afectados por las antropofonías terrestres, debido a que estas son mencionadas en las investigaciones de forma únicamente tangencial. Sin embargo, sí se hace referencia a los componentes de la biodiversidad afectados por las antropofonías generadas en el medio marino, en donde se menciona a los mamíferos marinos como las especies más vulnerables al ruido ya que utilizan el sonido para la comunicación, la navegación y búsqueda de alimento, entre otras cosas (Boebel et al., 2005; Erbe et al., 2019). Con estos antecedentes es llamativo que hasta el momento el sonido antropogénico en el ambiente terrestre no haya sido considerado, ya que muchas de las especies afectadas utilizan el medio terrestre para apareamiento, cuidado de crías y descanso, entre otros comportamientos.

Sería deseable, por ejemplo, tener una cuantificación más exhaustiva de las consecuencias ecológicas de la exposición al ruido en entornos terrestres. La identificación de las fuentes sonoras más intensas y/o frecuentes permitiría saber hacia dónde apuntar los esfuerzos de mitigación para que estos sean más efectivos (Barber et al., 2010; Buxton et al., 2017).

#### **1.4. Índices ecoacústicos para el estudio de impactos humanos sobre la vida silvestre**

Desde el desarrollo de la ecoacústica como campo, ha habido una proliferación de índices acústicos que tienen como objetivo caracterizar distintos aspectos ecológicos de un sistema (Farina & Gages, 2017; Sueur, 2018). La mayoría de estos índices funcionan sumando o contrastando la potencia acústica dentro de diferentes rangos de frecuencia (Ross et al. 2021). Se han desarrollado más de 60 índices para clasificar rápidamente paisajes sonoros en función de sus propiedades acústicas, proporcionando métricas para la evaluación y el monitoreo del hábitat (Bradfer-Lawrence et al., 2019).

Cada índice acústico utiliza diferentes características del paisaje sonoro, como el tono, la saturación y la amplitud. A menudo, estos implican contrastar períodos cortos de tiempo o bandas de frecuencia dentro de una grabación (Bradfer-Lawrence et al., 2019). Dado que cada índice refleja diferentes características espacio - temporales, considerar varios índices en conjunto puede brindar una mejor representación del paisaje sonoro que un índice individual (Bradfer-Lawrence et al., 2019).

Según Coetzee & Chown (2015) las perturbaciones humanas sobre la vida silvestre se entienden como actividades cuyos efectos no suelen ser letales pero que tienen la posibilidad de causar estrés o cambios en el desempeño a corto o largo plazo en los individuos. Al identificar cambios temporales en la estructura y composición de los paisajes sonoros, los monitoreos acústicos se pueden utilizar para evaluar cómo las especies se ven afectadas por el ruido antropogénico. Debido a la reciente aparición de esta área de estudio no existen aún estándares aceptados con respecto a la cantidad de datos (es decir, la duración de las grabaciones), la intensidad de muestreo necesaria para caracterizar el paisaje sonoro de un hábitat determinado o cual es el conjunto de índices que describen mejor los paisajes sonoros ya que esto depende del paisaje de que se trate y de la pregunta que se esté investigando (Bradfer-Lawrence et al., 2019; Fuller et al., 2015).

### **1.5. COVID-19 como oportunidad para el entender los impactos de las actividades humanas sobre los ecosistemas antárticos**

Para obtener información sobre el paisaje sonoro antártico prístino existen dos escenarios posibles: registros previos a los asentamientos humanos o registros en áreas antárticas remotas sin asentamientos humanos. El primer escenario no es posible debido a que no existen tales registros y el segundo escenario tiene la dificultad de que no serían datos completamente extrapolables debido a la heterogeneidad de ambientes presentes en la Antártida y las diferentes características de estos.

La pandemia de COVID-19 generó un tercer escenario debido a que provocó una reducción sin precedentes de las actividades humanas en la Antártida, brindando así un escenario experimental para poder evaluar posibles efectos de las actividades humanas sobre este territorio (Gordo et al., 2020; Lecoq et al., 2020). Esta interrupción abrupta y dramática de la mayoría de las actividades sociales y económicas humanas tuvo efectos cuantificables en los entornos urbanos mediante marcadas reducciones de la contaminación del aire y acústica (Gordo et al., 2020). Esto se puede visualizar por las respuestas de la vida silvestre a ciudades menos concurridas, ruidosas y contaminadas, lo que permite obtener conocimientos sin precedentes sobre cómo las actividades humanas afectan a la vida silvestre y al funcionamiento ecológico de los distintos sistemas (Gordo et al., 2020).

### **1.6. Península Fildes e Isla Ardley**

La península Fildes y la isla Ardley están ubicadas en la parte suroeste de la Isla Rey Jorge, Islas Shetland del Sur, Península Antártica (Figura 1). Esta zona representa una de las áreas libres de hielo más grandes de la Antártida marítima. En estas áreas se encuentran la ZAEP N° 125 Península Fildes y la ZAEP N° 150 Isla Ardley, bahía Maxwell, isla Rey Jorge, debido a su alta biodiversidad y el gran valor paleontológico (Braun et al., 2014; Gao et al., 2021).

En la Península Fildes se encuentran establecidas seis bases permanentes, Presidente Eduardo Frei Montalva (Chile), Marítima Antártica (Chile), Escudero (Chile), Bellingshausen (Rusia), Gran Muralla (China) y Artigas (Uruguay). El área de la Península Fildes se utiliza intensamente para actividades relacionadas con la ciencia, la logística y el turismo (Braun et al., 2014). A medida que la población continúa creciendo en la península Fildes, la demanda de espacio vital y recursos se ha expandido, lo que lleva a aumentos en las presiones individuales y acumulativas de una variedad de actividades humanas (Gao et al., 2021).

En el Plan de Gestión de la ZAEP N° 150 se hace referencia a que la Isla Ardley se une con la Península Fildes por medio de un istmo que queda al descubierto en momentos de marea baja. Esta zona tiene un alto interés biológico ya que en ella se encuentra una gran diversidad de aves marinas que utilizan la isla como sitio de reproducción o descanso (Braun et al., 2017). Esta zona también tiene una extensa y desarrollada flora en donde predominan los macrolíquenes (Peter et al., 2008).

Distintos análisis abordan la necesidad de gestionar la Península Fildes y la Isla Ardley dado los importantes valores que se encuentran allí y la vulnerabilidad de los sitios (Braun et al., 2017; Peter et al., 2008). Por lo que concluyen que es necesario desarrollar políticas internacionales sobre la restricción del espacio de actividad turística y fortalecer los controles de contaminantes orgánicos para la protección del ecosistema terrestre en la Península Fildes (Braun et al., 2014; Gao et al., 2021). Es importante resaltar que en ninguna de los análisis encontrados se menciona puntualmente la incorporación del paisaje sonoro o el análisis de la presencia del ruido antropogénico como variables a ser tenidas en cuenta para desarrollar estas políticas.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Conocer la composición del paisaje sonoro en Isla Ardley, evaluando la incidencia del ruido antropogénico a lo largo de y entre tres campañas antárticas con distinto nivel de actividad humana.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar las fuentes sonoras de origen antrópico identificadas en la Isla Ardley y su variación a lo largo de la temporada y entre ellas.
- Caracterizar el paisaje sonoro de la Isla Ardley a través del uso de índices acústicos.
- Evaluar la presión antrópica sobre el paisaje sonoro a través de las diferencias en su composición en años de actividad humana “normal” (pre-COVID/pos-COVID) y reducida (COVID).

## **3. Metodología**

### **3.1 Área de estudio y obtención de datos**

El área de estudio fue la Isla Ardley, que forma parte del archipiélago de las Islas Shetland del Sur. Esta es una isla oceánica libre de hielo de 1,9 kilómetros de largo, ubicada frente a la bahía de la Península Fildes (Ver Figura 1).

Los registros acústicos se realizaron en el marco del proyecto “Evaluación de la estructura del paisaje sonoro y la incidencia del ruido antrópico en Isla Ardley (Bahía Maxwell)”. Los archivos de audio utilizados en este trabajo corresponden a tres períodos de muestreo correspondientes a las campañas antárticas de verano (CAV) 2017/2018, 2020/2021 y 2021/2022. Los registros realizados durante la CAV 2017/2018 fueron hechos de forma manual, utilizando una grabadora Marantz PMD661 con un micrófono direccional Sennheiser K6/ME66. Los registros durante las CAV 2020/2021 y 2021/2022 se realizaron de forma automática, utilizando Unidades Autónomas de Registro (UAR, AudioMoth v1.1.0 y v1.2.0) con micrófono omnidireccional. En todos los casos los archivos se grabaron en formato .wav, sin compresión de la información sonora.

La ubicación de los puntos de muestreo en la CAV 2017/2018 se basó en seleccionar 5 puntos de muestreo a lo largo de una transecta que atravesaba longitudinalmente la isla de E a W, sobre la playa mirando hacia Caleta Ardley, de frente se observa base chilena, rusa y uruguaya (Ver Figura 1). Durante las CAV 2020/2021 y 2021/2022, en Isla Ardley se colocaron dos unidades autónomas de registro (UAR): una en Punta Faro y otra en Punta Eulogía (ver Figura 1). Para este trabajo se tomaron los datos obtenidos del punto de muestreo ubicado en Punta Faro.

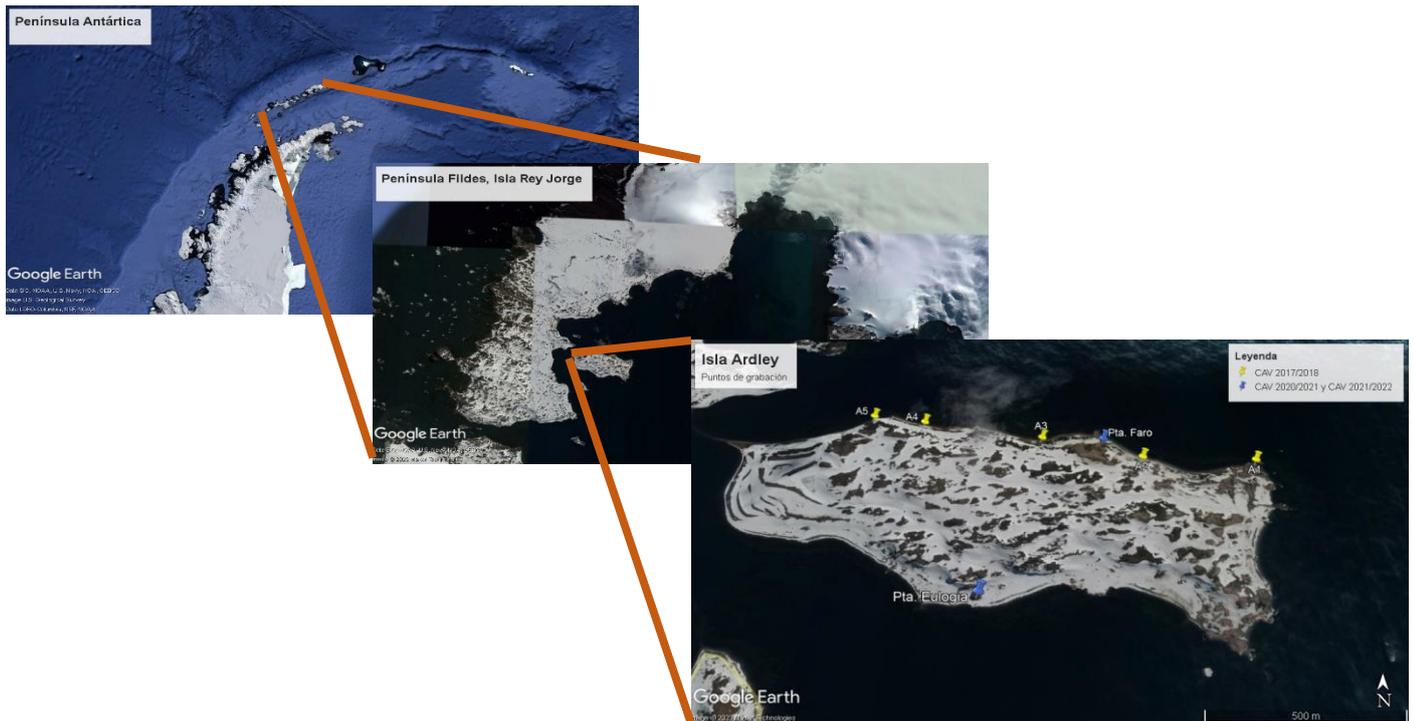


Figura 1. Ubicación Isla Ardley. Ubicaciones de puntos de muestreo CAV 2017/2018 (pines amarillos), CAV 2020/2021 y CAV 2021/2022 (pines azules)

La selección de las muestras se basó en mantener una coherencia entre fechas y horarios para las tres CAV muestreadas, ya que debido al cambio en la forma de registro a partir de la CAV 2020/2021 y a algunas restricciones logísticas durante esta misma CAV, no siempre se dispuso de registros en las mismas fechas a través de las sucesivas campañas. Por lo tanto, dadas las diferencias entre la forma de registro mencionadas anteriormente y la disponibilidad de audios en las fechas de referencia (las de la CAV 2017/2018), para las CAV siguientes se seleccionaron los archivos de audio de la siguiente manera. Se tomaron las cuatro fechas anteriores y posteriores más cercanas a cada una de las fechas de registro de la CAV 2017/2018. Luego dentro de esas fechas se seleccionó en el mismo rango horario o el más cercano que se tuviera de las horas muestreadas en la CAV 2017/2018. Finalmente, el material seleccionado para este trabajo constó de 146 archivos de audio, (donde 18 pertenecen a la CAV 2017/2018, 32 pertenecen a la CAV 2020/2021 y 96 pertenecen a la CAV 2021/2022), en su mayoría de una duración de 5 minutos, obtenidos entre los meses de Noviembre y Enero de cada CAV.

Las muestras en las tres CAV fueron tomadas en momentos de actividad de trabajo baja (*NOV-DIC*), la cual está asociada a los meses de noviembre/diciembre donde las bases se encuentran comenzando las actividades de verano de manera progresiva, y de actividad de trabajo alta (*ENE*), la cual está asociada al mes de enero donde las bases ya se encuentran desarrollando todas las actividades de verano.

### 3.2 Tratamiento de datos y análisis estadísticos

Para realizar el análisis y tratamiento de datos estadísticos se utilizó el programa R versión 4.1.0 (R Core Team, 2021) y para la representación gráfica el paquete ggplot2 (Wickham, 2016).

#### 3.2.1 Caracterización de fuentes de sonido antrópico y su incidencia

Para el primer objetivo específico se escucharon los archivos de audio en su totalidad. Para marcar los sonidos de origen antrópico se utilizó la herramienta de generación de tablas de selección para cada uno de los audios utilizando el programa Raven Pro 1.6.4 (K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics, 2022). Las tablas de selección permiten ordenar la información de los fragmentos de audio seleccionados. Estas tablas contienen información de los segmentos de audio marcados, relativa a su estructura temporal, espectral y su intensidad. Para este estudio se utilizaron las variables tiempo de inicio, tiempo de finalización, frecuencia mínima, frecuencia máxima y tipo de sonido. A partir de este análisis se definieron las categorías en las que se agruparon los tipos de sonidos identificados (ver Tabla 1).

Con las variables utilizadas se realizó el cálculo de a) porcentaje de ocurrencia ( $n^\circ$  de audios con presencia de antropofonías /  $n^\circ$  total de audios) de cada categoría de sonido identificada sin diferenciar entre campañas y b) porcentaje del tiempo muestreado con presencia de antropofonías (duración de sonido con antropofonías / duración total del audio) diferenciando entre campañas y también diferenciando entre momentos de baja actividad (NOV-DIC) y de alta actividad (ENE).

Para analizar las diferencias estadísticas del porcentaje de tiempo ocupado por antropofonías (sin diferenciar por categoría) entre campañas y momentos de actividad se utilizó una transformación de rangos para luego utilizar la función ANOVA, luego se realizó un análisis post-hoc utilizando el test de Dunn con un ajuste de tipo Bonferroni, ambos análisis del paquete “stats” de R versión 4.1.0 (R Core Team, 2021).

#### 3.2.2 Índices eco acústicos

Para realizar el segundo objetivo específico se tuvo en cuenta que durante la CAV 2017/2018 se utilizó un micrófono direccional. Este tipo de micrófono captan preferentemente los sonidos provenientes de la dirección de captación del micrófono, mientras que los sonidos de otras direcciones son filtrados. Por lo anterior, al realizar el análisis del índice ACI se tomó en cuenta el punto de muestreo N° 3 de CAV 2017/2018, ya que es el más cercano a los puntos de muestro de las CAV 2020/2021 y 2021/2022.

Se realizó la caracterización mediante índices ecoacústicos utilizando los paquetes “seewave” versión 2.1.8 (Sueur et al., 2018) y “tuneR” versión 1.3.3 (Uwe et al., 2018). Para el cálculo de los índices acústicos, primero se generaron 5 sub-muestras por cada archivo de audio con una duración de 1 minuto cada una, obteniendo 730 sub-muestras en total. Esta separación en sub-muestras fue necesaria debido a que el cálculo de los índices para porciones de audio mayores a 60 segundos se vuelve computacionalmente intenso para el programa utilizado. Para caracterizar el paisaje sonoro, se utilizaron tres índices ecoacústicos, cada uno de los cuales representa distintos aspectos del paisaje (Bradfer-Lawrence et al., 2019):

- Entropía total (H) permite identificar diferencias en la energía de los sonidos trabajando con la amplitud y la frecuencia de éstos, cuantifica las variaciones a lo largo del tiempo y espacio. Los valores que toma este índice se encuentran en el rango de 0 a 1, tomando el valor 1 para los momentos de mayor energía y 0 para los de menor energía (Sueur, 2018).

- Complejidad acústica (ACI) mide la complejidad del sonido, calculando la variabilidad de las intensidades de éstos, dando más relevancia a los sonidos con mayor amplitud, por ejemplo, los sonidos biofónicos y filtrando los sonidos de origen antrópico. Este índice no tiene un rango definido ya que su valor depende de las intensidades que se hayan registrado, un valor de ACI mayor refleja una mayor complejidad acústica (Sueur, 2018).
- Paisaje sonoro de diferencia normalizada (NDSI), permite estimar el nivel de perturbación antropogénica en el paisaje sonoro utilizando la proporción de los componentes acústicos antrópicos y biológicos detectados en el audio. Los valores que toma este índice se encuentran en el rango de -1 a 1, siendo 1 el valor que indica que no hay presencia de antropofonías en la muestra (Sueur, 2018).

En general, para el análisis de los sonidos se diferencia entre frecuencias altas y frecuencias bajas, las frecuencias bajas son de 0 a 1KHz, dentro de este rango entrarían geofonías y antropofonías. En general las geofonías pueden encontrarse hasta los 500Hz, en la Antártida se pueden encontrar hasta frecuencias un poco mayores por las características del paisaje, mientras que las antropofonías se encuentran principalmente entre 100Hz y 1KHz. Mientras que las biofonías están presentes en las frecuencias altas.

### 3.2.3 Diferencias entre CAVs con distinta actividad humana

Para analizar las diferencias entre CAVs con distinta actividad humana asociadas a la caracterización realizada en el primer objetivo se calculó: a) porcentaje de ocurrencia de las antropofonías detectadas ( $n^\circ$  de audios con presencia de antropofonías /  $n^\circ$  total de audios) y b) porcentaje del tiempo muestreado con presencia de antropofonías del total de cada muestra (duración de sonido con antropofonías / duración total del audio). Estos análisis se realizaron por campaña para todas las categorías de antropofonías juntas y para cada una por separado. Para analizar las diferencias estadísticas del porcentaje de ocurrencia de antropofonías y porcentaje de tiempo ocupado por las mismas (sin diferenciar por categoría) entre campañas se utilizó la función de Prueba de suma de rangos de Kruskal-Wallis, y luego se realizó un análisis post-hoc utilizando el test de Dunn con un ajuste de tipo Bonferroni, ambos análisis del paquete “stats” de R versión 4.1.0 (R Core Team, 2021), en los test realizados la significancia es según p-valor  $\leq 0,025$ .

Por otra parte, para realizar la comparación estadística por CAV de la caracterización del paisaje como resultado de los índices ecoacústicos, se utilizó la función de Ajustes de Modelos Generalizados (GLM) del paquete “stats” de R versión 4.1.0 (R Core Team, 2021), utilizando una familia de tipo Gausiana. En el caso de los índices ACI y NDSI, se realizaron transformaciones de rangos (Conover & Iman 1981). Luego se realizaron análisis post-hoc utilizando el test de Dunn con un ajuste de tipo Bonferroni, ambos análisis del paquete “stats” de R versión 4.1.0 (R Core Team, 2021), en los test realizados la significancia es según p-valor  $\leq 0,025$ .

## 4. Resultados

### 4.1. Descripción de sonidos encontrados

#### 4.1.1. Descripción cualitativa general

El análisis de los archivos de audio arrojó como resultado la identificación de diversas fuentes sonoras de origen antrópico. Se agruparon en seis categorías de sonidos y una séptima que agrupa los sonidos no identificados (Tabla 1).

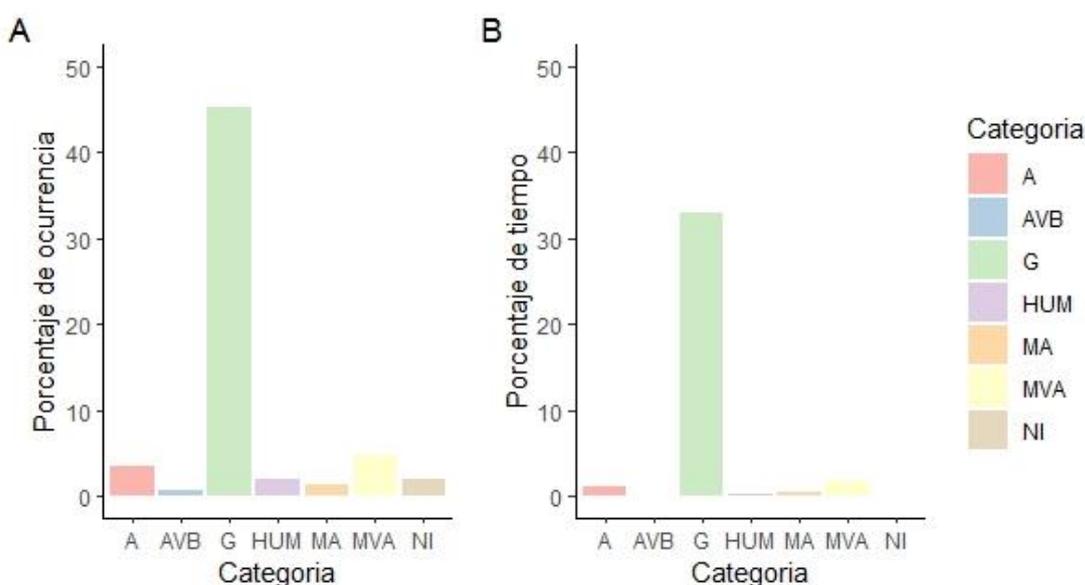
**Tabla 1. Tipos de sonidos identificados y categorías asignadas**

Tipo de sonido identificado	Descripción del sonido	Categoría asignada	Tipo de fuente
<b>Generador</b>	Generador de energía a base de combustión	G	Estacionaria
<b>Aeronave</b>	Vehículos aéreos	A	Puntual
<b>Motores de vehículos acuáticos</b>	Motores a combustión de distintos vehículos acuáticos como gomones, lanchas, barcos, etc.	MVA	Puntual
<b>Humanos (pasos, voz, herramientas)</b>	Sonidos realizados por el cuerpo humano o trabajo manual	HUM	Puntual
<b>Marcha atrás</b>	Alarma de vehículo para indicar un movimiento en específico	MA	Puntual
<b>Altavoz barco</b>	Parlante de barco para realizar avisos de forma masiva a los pasajeros	AVB	Puntual
<b>Sin identificar</b>	Sonidos que se identifican como antropofonías, pero no son claramente identificados	NI	Puntual

#### 4.1.2. Descripción de las antropofonías identificadas

De las seis categorías identificadas la que tuvo mayor presencia fue el generador (45% de ocurrencia), seguido por motores de vehículos acuáticos (4,8% de ocurrencia) y aeronaves (3,4% de ocurrencia) (Figura 2A). La antropofonía con mayor duración acumulada fue el generador, ocupando un 33% del tiempo total muestreado, seguido por el sonido de motor de vehículos acuáticos con un 1,7% del tiempo total muestreado (Figura 2B).

#### Presencia acumulada de antropofonías



*Figura 2. A. Ocurrencia de antropofonías segregadas por categorías, B. Tiempo ocupado por antropofonías segregadas por categorías. Las categorías son las siguientes: A – Aeronave, AVB – Alta voz barco, G – Generador, HUM – Humanos, MA – Marcha atrás, MVA – Motor de vehículo acuático y NI – Sin identificar*

#### 4.1.3. Tiempo ocupado por antropofonías segregado por CAVs y períodos de actividad

El porcentaje de tiempo ocupado por antropofonías varió entre las distintas campañas (Figura 3). Se encontró diferencias significativas entre campañas, pero no entre los distintos momentos de actividad de la campaña (Tabla 2). Al analizar la diferencia entre campañas se observa que esta diferencia corresponde a la comparación entre las CAVs 2017/2018 - 2020/2021 (Dunn p-valor = 0,011) y 2020/2021 – CAV 2021/2022 (Dunn p-valor = 0,04), mientras que no se encontraron diferencias significativas entre las CAV 2017/2018 - 2021/2022 (Dunn p-valor = 0,28) (Figura 3).

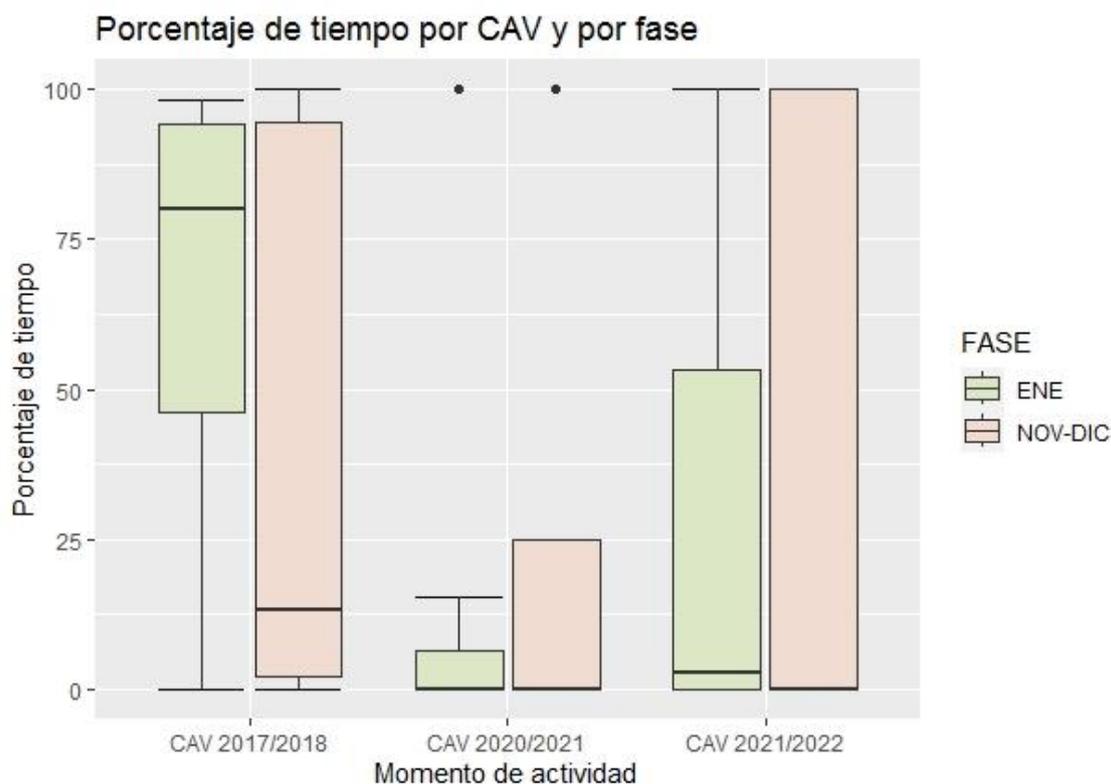


Figura 3. Porcentaje de tiempo ocupado por antropofonías por campaña y por fase. Las fases analizadas son: momentos de baja actividad humana (NOV-DIC) y momentos de alta actividad humana (ENE). La línea central representa la mediana, los extremos inferior y superior de la caja representan el primer y tercer cuartil respectivamente y los bigotes muestran la variabilidad por fuera de los cuartiles al igual que los puntos negros.

Tabla 2. Resultado de ANOVA de dos vías

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
<b>CAV</b>	2	12476	6238,2	4,19	0,017*
<b>FASE</b>	1	661	661,0	0,44	0,51
<b>CAV:FASE</b>	2	884	441,9	0,29	0,74
<b>Residuals</b>	140	208330	1488,1		

#### 4.1.4 Diferencias de presencia y duración entre campañas

La CAV con mayor ocurrencia de antropofonías fue la CAV 2017/2018 (83,3%), seguida por la CAV 2021/2022 (49,5%). La CAV con menor ocurrencia fue la 2020/2021 (31,2%) (Figura 4A). Estas diferencias de ocurrencia fueron significativas entre la CAV 2017/2018 y las otras dos (Dunn p-valor 2020/2021 = 0,0010 y Dunn p-valor 2021-2022 = 0,013), mientras que entre las CAV 2020/2021 – 2021/2022 no se encontró diferencia significativa (p-valor = 0,11) (Figura 4). El tiempo con presencia de antropofonías fue significativamente menor para la CAV 2020/2021 (17,2%) respecto a la CAV 2017/2018

(55%, Dunn p-valor = 0,010) y marginalmente menor pero no significativo respecto a 2021/2022 (37,4%, Dunn p-valor = 0,049).

#### Presencia de antropofonías total por CAV

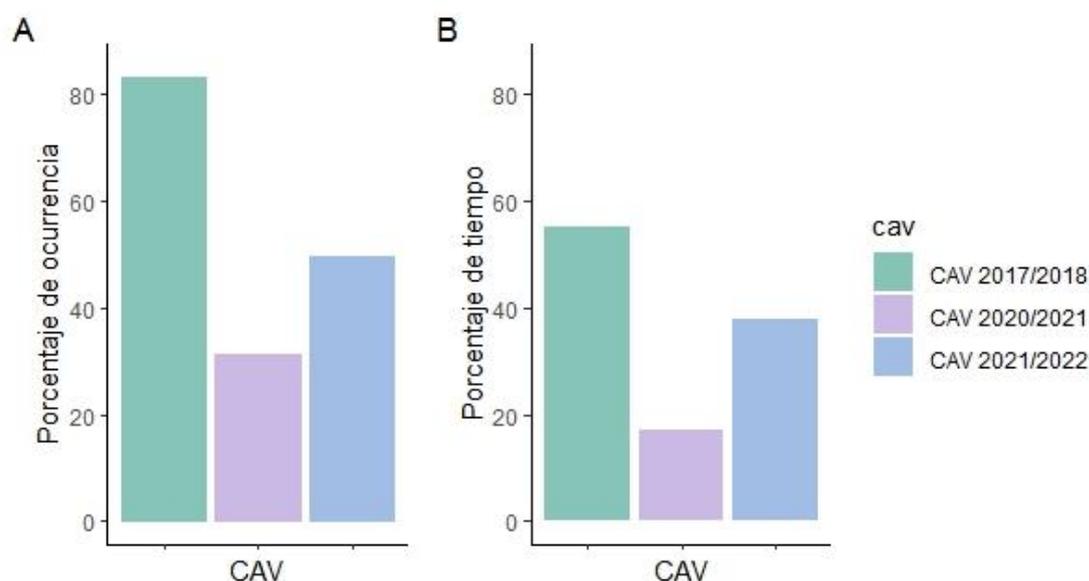


Figura 4. Presencia de antropofonías total por CAV. A. Porcentaje de tiempo con presencia de antropofonías por CAV, B. Porcentaje de ocurrencia de antropofonías por CAV. En ambos casos las CAV analizadas son: CAV 2017/2018, CAV 2020/2021 y CAV 2021/2022.

#### 4.1.5 Diferencias entre categorías en las distintas campañas

La campaña con mayor cantidad de antropofonías identificadas fue la CAV 2017/2018, seguida por la CAV 2021/2022 y, por último, la CAV con menor número de eventos de antropofonías detectadas fue la CAV 2020/2021 (Figura 5A, Tabla 3). El generador fue el sonido con mayor ocurrencia en las diferentes campañas analizadas. De la duración de las antropofonías identificadas en la campaña 2017/2018, la mayor proporción es ocupada por el generador (39% tiempo), seguido por la categoría motor de vehículos acuáticos (11,3% tiempo) y aeronaves (6,8% tiempo). Mientras que en las siguientes campañas la aparición de estos sonidos es mínima, a excepción del generador que se encuentra presente en las tres campañas (Figura 5B).

Tabla 3. Porcentaje de ocurrencia de antropofonías segregadas por categoría y por CAV.

Tipo de sonido identificado	Categoría	CAV 2017/2018	CAV 2020/2021	CAV 2021/2022
Aeronave	A	17%	0%	3%
Alta Voz Barco	AVB	0%	0%	1,1%
Generador	G	55,5%	31%	48%
Humano	HUM	5,5%	0%	2,1%
Marcha Atrás	MA	0%	3%	1%
Motor Vehículo Acuático	MVA	33,3%	0%	2,1%
No identificado	NI	17%	0%	0%

## Presencia acumulada de antropofonías por CAV

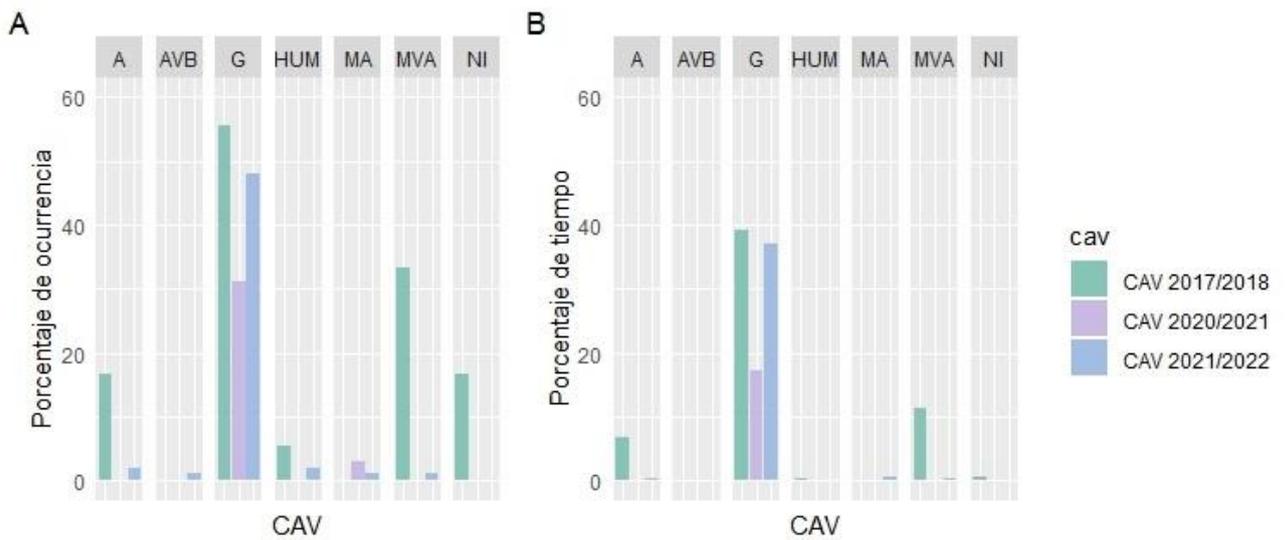


Figura 5. Presencia de antropofonías acumuladas por CAV. A. Porcentaje de tiempo con presencia de antropofonías segregadas por categoría por CAV, B. Porcentaje de ocurrencia de antropofonías segregadas por categoría por CAV. En ambos casos las CAV analizadas son: CAV 2017/2018, CAV 2020/2021 y CAV 2021/2022.

Las categorías son las siguientes: A – Aeronave, AVB – Alta voz barco, G – Generador, HUM – Humanos, MA – Marcha atrás, MVA – Motor de vehículo acuático y NI – Sin identificar

## 4.2. Índices eco acústicos

### 4.2.1. Resultados del índice H

Al ser un índice que hace referencia a la energía del sonido, nos permitió ver que la CAV 2020/2021 fue la que tuvo mayor variación de energía. Por otro lado, la CAV con menor índice de entropía fue 2021/2022 (Figura 6). Las variaciones del índice H fueron significativas para la CAV 2017/2018 – 2021/2022 y CAV 2020/2021 – 2021/2022 (Dunn p-valor < 0,0010, para ambos casos).

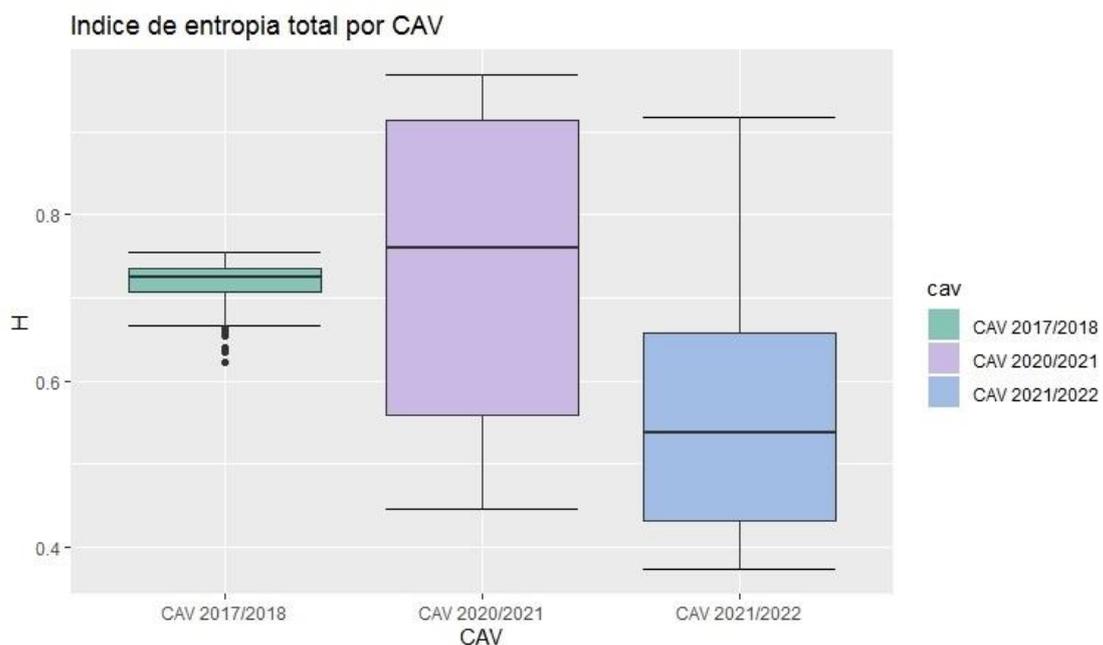


Figura 6. Comparación del índice de entropía total (H) y campañas (CAV). Las campañas comparadas son CAV 20217/2018, 2020/2021 y 2021/2022. La línea central representa la mediana, los extremos inferior y superior de la caja representan el primer y tercer cuartil respectivamente y los bigotes muestran la variabilidad por fuera de los cuartiles al igual que los puntos negros.

#### 4.2.2. Resultados del índice ACI

El valor de complejidad acústica fue significativamente mayor para la campaña 2017/2018 (Dunn p-valor < 0,0010, respecto a las otras dos CAV). Mientras que entre las CAV 2020/2021 y 2021/2022 se observa una complejidad acústica con una diferencia significativa (Dunn p-valor = 0,010) y sus medias toman valores similares (Figura 7).

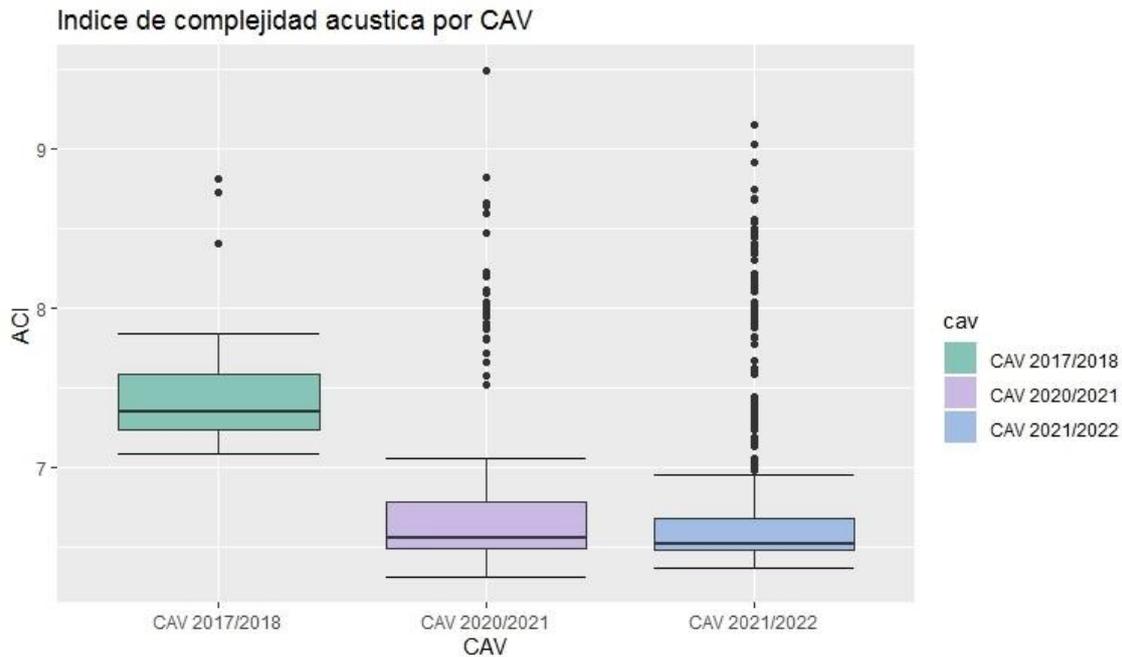


Figura 7. Comparación del índice de complejidad acústica (ACI) por campaña (CAV). Las campañas comparadas son CAV 20217/2018, 2020/2021 y 2021/2022. La línea central representa la mediana, los extremos inferior y superior de la caja representan el primer y tercer cuartil respectivamente y los bigotes muestran la variabilidad por fuera de los cuartiles al igual que los puntos negros.

#### 4.2.3. Resultados del índice NDSI

Se observó que para la CAV 2020/2021 los valores del NDSI fueron significativamente distintos de las otras campañas (Dunn p-valor < 0,0010, respectivamente), tomando valores más cercanos a 1, que indican menor influencia de antropofonías en el paisaje, por lo que se destacan las biofonías (Figura 8). En cuanto a las CAV 2017/2018 y 2021/2022 los comportamientos del índice son similares para ambos casos.

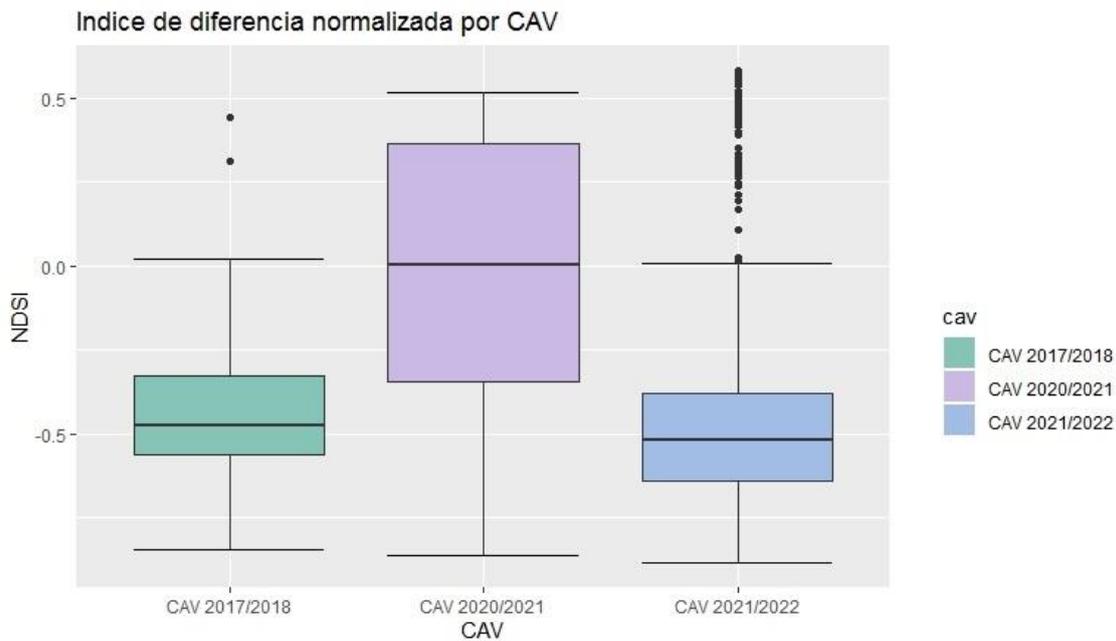


Figura 8. Comparación de índice de diferencia normalizada (NDSI) en cada campaña (CAV). Las campañas comparadas son CAV 20217/2018, 2020/2021 y 2021/2022. La línea central representa la mediana, los extremos inferior y superior de la caja representan el primer y tercer cuartil respectivamente y los bigotes muestran la variabilidad por fuera de los cuartiles al igual que los puntos negros.

## 5. Discusión

El aumento de la actividad humana en las zonas libre de hielo de la Antártida ha significado una mayor presión sobre este ecosistema y su biodiversidad (Pertierra et al., 2017, Gao et al. 2021). El estudio de las características de las presiones antropogénicas asociadas al paisaje sonoro es clave para dimensionar el impacto y aportar a la elaboración de distintas propuestas de mitigación (Barber et al., 2010; Buxton et al., 2017). Este trabajo tiene la particularidad de ser de los primeros análisis realizados en el área de estudio basado en este tipo de datos y utilizando herramientas de análisis como los índices ecoacústicos. Además, la situación particular de COVID-19 a nivel mundial permitió generar registros de información en un escenario donde la actividad humana fue mínima en el área.

### 5.1. Antropofonías y su comportamiento

Para este trabajo se tomaron registros en un área de estudio que se encuentra dentro de la ZAEP N°150. Se identificaron antropofonías en las tres campañas analizadas, por lo que se evidenció que esta ZAEP está expuesta a los efectos de la actividad humana que se realiza en su entorno.

En las distintas campañas antárticas estudiadas se encontró que las antropofonías tuvieron comportamientos distintos en cuanto a su presencia y tiempo que ocupan. Principalmente las diferencias que se encontraron fueron menor ocurrencia y frecuencia en la campaña COVID (2020/2021) respecto a las otras campañas. Estas diferencias en las antropofonías reflejan el efecto significativo que la actividad humana regular está teniendo sobre los ecosistemas de la ZAEP.

En cuanto a los distintos momentos de actividad entre las campañas antárticas no se encontraron diferencias destacables. Si se observó como era de esperarse que en el período de menor actividad (Noviembre – Diciembre) se identificó menor presencia de

antropofonías que en el período de mayor actividad (Enero). Para confirmar que no hay diferencias entre los momentos de actividad sería bueno para próximos estudios poder incluir en la muestra datos de períodos de mayor actividad más adentrados en la campaña antártica, por ejemplo, muestras de fines de enero o principio de febrero.

La única antropofonía que fue detectada en la campaña COVID de forma significativa es el sonido del generador, igualmente la presencia de este y el tiempo que ocupó fue significativamente menor que en las otras campañas. Se entiende que esto podría estar asociado a la menor demanda de energía en las bases ya que en la campaña COVID hubo una gran restricción en la cantidad de personas que pudieron viajar, resultando en una merma de actividades de los distintos países.

La antropofonía identificada como fuente de sonido estacionaria (generador) tiene mayor presencia, en ocurrencia y tiempo, que las fuentes puntuales encontradas. Esto se cumple para las tres campañas analizadas. En cuanto a las fuentes puntuales se observó que están presentes en varios momentos, pero en períodos muy cortos de tiempo, la campaña COVID es la que presentó la menor cantidad de fuentes puntuales. Estos resultados, principalmente los de la campaña COVID, pueden ser usados como línea de base para medir los incrementos en los impactos de la actividad humana en el área.

## **5.2. Índices ecoacústicos**

Principalmente para discutir los resultados de los índices ecoacústicos es importante tener presente las siguientes consideraciones metodológicas asociadas a las distintas formas de registro utilizadas en las campañas analizadas. A partir de la campaña 2020/2021 se implementó una metodología que implicó un cambio en la forma de muestreo. Estas diferencias, ocasionan que algunos de los datos puedan no ser comparables, especialmente considerando la cantidad de datos obtenidos en cada caso (en la campaña con grabaciones manuales la cantidad de grabaciones se encuentran en el orden de decenas, mientras que en campañas con grabaciones automáticas se encuentran en el orden de las centenas). Además, la diferente direccionalidad y alcance de captación de los sensores también plantea un desafío, ya que no se recogen datos de la misma dirección espacial ni distancia en todos los casos.

La campaña COVID presentó un mayor valor del índice H, este resultado muestra que hubo una mayor ocupación de las bandas de frecuencia correspondientes a las biofonías, mostrando coherencia con la merma de actividades humanas en esa campaña. Para las campañas pre-COVID y post-COVID se esperaba obtener resultados similares debido a la similitud de actividades humanas en ambos años. Sin embargo, para la campaña post-COVID los resultados mostraron valores bajos de H, indicando así una detección menor de biofonías, mientras que para la campaña pre-COVID los resultados fueron similares a los de la campaña COVID. Estas diferencias pueden deberse a las diferencias en los datos obtenidos, ya que como se mencionó anteriormente, en la CAV 2017/2018 se realizó un muestreo piloto donde se realizaron grabaciones manuales con micrófonos direccionales. Esto implica que el patrón de registro cambia respecto a los micrófonos omnidireccionales de los grabadores automático lo cual se puede ver reflejado en los sonidos captados por los micrófonos. Otro punto es que las grabaciones manuales pueden tener un sesgo involuntario de hacia dónde apuntar el micrófono, o el intervalo de tiempo a grabar que en las CAVs siguientes no se encuentra presente, donde el lapso a grabar es fijo y automático.

Los resultados del índice ACI muestran diferencias significativas entre la CAV 2017/2018 respecto a las siguientes. Por otra parte, estos resultados se apartaron de las predicciones que se tenían al iniciar el trabajo, ya que el comportamiento esperable de

este índice era que las campañas con actividad “normal” fueran más similares entre sí que con la campaña de actividades reducidas. Entendemos que esto se puede deber a las metodologías de registro (por ejemplo, tipos de micrófonos) y a la cantidad de muestras utilizadas para cada campaña ya que la literatura recomienda tener una muestra mayor de horas de grabación que la que se obtuvo en la CAV 2017/2018 (Bradfer-Lawrence et al., 2019). Además, en este caso particular, como la direccionalidad del sonido es muy influyente sobre el ACI, se tomó la decisión de dejar por fuera del análisis los puntos de muestreo de la CAV 2017/2018 más alejados del punto de muestro de las otras dos CAV, por lo que se contó con aún menos registros que para el análisis de los otros índices.

Para el caso del índice NDSI se observó que el nivel de antropofonías se redujo significativamente en la campaña COVID, lo que probablemente este asociado a la baja actividad humana en esta campaña. Es relevante destacar que a pesar de que las geofonías (que esencialmente tienen su energía concentrada en la misma banda de frecuencia que las antropofonías) se encuentran presentes en las tres campañas, se evidencian diferencias significativas por medio de este índice, por lo que un ambiente con un alto grado de geofonías parece no afectar el desempeño del NDSI. Debido a lo mencionado anteriormente, este índice demostró ser una herramienta de suma relevancia para utilizar en este tipo de paisajes.

En la bibliografía se describe que durante la pandemia de COVID hubo cambios inesperados en distintos ecosistemas y la incidencia de la contaminación acústica de origen antropogénico (Leqoc et al., 2020; Terry et al., 2020). El ecosistema antártico no fue la excepción. Durante la pandemia disminuyeron las actividades tanto logísticas como científicas asociadas a las bases de los diferentes países y se prohibió el desarrollo de otras actividades como el turismo. Esta disminución fue interpretada por medio de la cantidad de antropofonías presentes en la zona de estudio, el tiempo en que estas se desarrollaron y los resultados arrojados por el índice NDSI que muestra diferencias estadísticas significativas debido a la disminución de antropofonías en esa campaña. En cuanto a la campaña post-COVID las antropofonías volvieron a elevar sus valores de incidencia en el ambiente, pero sin lograr alcanzar los valores pre-COVID. Estas variaciones encontradas ponen de manifiesto la importancia de continuar monitoreando el comportamiento de las antropofonías para entender la evolución del ruido antropogénico en el ambiente antártico y su vínculo con las diferentes actividades y usos que allí se desarrollan.

Otra cuestión que discutir es que los índices ecoacústicos fueron diseñados para ser utilizados con datos de otros tipos de paisajes sonoros y las geofonías pueden enmascarar algunas antropofonías por utilizar las mismas bandas de frecuencia (Fuller et al., 2015; Bradfer-Lawrence et al., 2019). Se podría considerar la elaboración de un procedimiento para realizar los muestreos que permita que al crecer la investigación en este tema e involucrarse más personas, se facilite la estandarización de criterios y la generación de resultados comparables.

## **6. Aportes a la gestión ambiental**

A partir de este trabajo y en línea con lo que menciona SCAR (2023), se puede inferir que la continuidad en esta línea de investigación permitiría ampliar el conocimiento que describe el paisaje sonoro antártico. Además, podría contribuir a continuar generando y revisando información de base para el desarrollo de distintos instrumentos de gestión ambiental antártica. Para aportar a esa línea de base, en este trabajo se realizó una identificación manual de las distintas antropofonías que permite poder aplicar en futuras investigaciones una identificación de sonidos automatizada. Se podrán utilizar de referencia las marcas realizadas en las tablas de identificación de este trabajo y así

poder aportar a la calibración del proceso automatizado de acuerdo con la identificación realizada de forma manual. Por otra parte, este trabajo aporta una lista de antropofonías predominantes en el área, al igual que otras que surgen en menor medida, pero de las que es importante poder tener monitoreada su presencia ya que pueden generar potenciales impactos sobre el paisaje en general en caso de continuar o aumentar en el tiempo. Así como también es relevante tener presente el efecto de la sumatoria de impactos generados por distintas fuentes sonoras. A partir de las metodologías utilizadas para los monitoreos en las distintas campañas antárticas, a la hora de continuar con estos se recomienda utilizar grabadores automáticos debido a que estandarizan los resultados de las grabaciones en cuanto a duración y direccionalidad entre otras características y permiten tener una mayor cantidad de muestras ya que no dependen de la presencia humana en el lugar. Se podría considerar establecer en los planes de manejo pautas para realizar los monitoreos y el seguimiento de las variables analizadas. Por ejemplo, sería importante incluir el índice NDSI entre las variables a analizar ya que mostro tener buenos resultados en ambientes con un importante aporte de geofonías como es el ambiente antártico. Contar con la información obtenida en la campaña COVID como línea de base es importante a la hora de realizar el seguimiento de las variables a analizar en los monitoreos del comportamiento de las actividades humanas por medio de las antropofonías detectadas en campañas futuras. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, respecto a los instrumentos de gestión ambiental, podría ser de utilidad incluir el análisis del paisaje sonoro en planes de manejo de áreas protegidas fuera del ambiente antártico como forma de lograr definiciones de acciones más integrales.

## 7. Bibliografía

- Acosta, L. (2021). Mapeo sistemático del sonido antrópico terrestre en la Antártida. Licenciatura en Gestión Ambiental, Centro Universitario Regional del Este. Universidad de la República.
- Barber, J. R., Crooks, K. R., & Fristrup, K. M. (2010). The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(3), 180-189. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.08.002>
- Buxton, R. T., McKenna, M. F., Mennitt, D., Fristrup, K., Crooks, K., Angeloni, L., & Wittemyer, G. (2017). Noise pollution is pervasive in U.S. protected areas. *Science*, 356(6337), 531-533. <https://doi.org/10.1126/science.aah4783>
- Bradfer-Lawrence, T., Gardner, N., Bunnefeld, L., Bunnefeld, N., Willis, S. G., & Dent, D. H. (2019). Guidelines for the use of acoustic indices in environmental research. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(10), 1796–1807. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13254>
- Braun, C., Hertel, F., Mustafa, O., Nordt, A., Pfeiffer, S., & Peter, H. U. (2014). Environmental Assessment and Management Challenges of the Fildes Peninsula Region. In: Tin, T., Liggett, D., Maher, P., Lamers, M. (eds) *Antarctic Futures*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6582-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6582-5_7)
- Braun, C., Esefeld, J., & Peter, H. U. (2017). Monitoring the consequences of local climate change on the natural resources of the ice-free regions of Maxwell Bay (King George Island, Antarctic). Polar and Bird Ecology Group, Institute of Ecology, Friedrich-Schiller-University Jena.
- Chown, S. L., & Brooks, C. M. (2019). The State and Future of Antarctic Environments in a Global Context. *Annual Review of Environment and Resources*, 44(1), 1-30. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033236>
- Coetzee, B. W. T., & Chown, S. L. (2015). A meta-analysis of human disturbance impacts on Antarctic wildlife. *Biological Reviews*, 91(3), 578-596. <https://doi.org/10.1111/brv.12184>
- Conover, W. J., & Iman, R. L. (1981). Rank transformations as a bridge between parametric and nonparametric statistics. *The American Statistician*, 35(3), 124-129. <https://doi.org/10.1080/00031305.1981.10479327>
- Dinno, A. (2017). *Dunn.test: Dunn's Test of Multiple Comparisons Using Rank Sums*. R package version 1.3.5. <https://CRAN.R-project.org/package=dunn.test>
- Eldridge, A. (2021). "Listening to Ecosystems as Complex Adaptive Systems: Toward Acoustic Early Warning Signals." *Proceedings of the ALIFE 2021: The 2021 Conference on Artificial Life*. *ALIFE 2021: The 2021 Conference on Artificial Life*. Online. (pp. 20). ASME. [https://doi.org/10.1162/isal\\_a\\_00450](https://doi.org/10.1162/isal_a_00450)
- Farina, A., & Gage, S. H. (2017). *Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds*. Wiley.
- Farina, A. (2014). *Soundscape Ecology*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7374-5>
- Fisher, R., Shiell, G. R., Sadler, R. J., Inostroza, K., Shedrawi, G., Holmes, T. H., & McGree, J. M. (2019). Epower: An r package for power analysis of Before-After-Control-Impact (BACI) designs. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(11), 1843–1853. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13287>
- Francis, C. D., Newman, P., Taff, B. D., White, C., Monz, C. A., Levenhagen, M., Petrelli, A. R., Abbott, L. C., Newton, J., Burson, S., Cooper, C. B., Fristrup, K. M., McClure, C. J., Mennitt, D., Giamellaro, M., & Barber, J. R. (2017). Acoustic environments matter: Synergistic benefits to humans and ecological

- communities. *Journal of Environmental Management*, 203, 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.041>
- Fuller, S., Axel, A. C., Tucker, D., & Gage, S. H. (2015). Connecting soundscape to landscape: Which acoustic index best describes landscape configuration? *Ecological Indicators*, 58, 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.057>
  - Gao, Y., Li, R., Gao, H., Hou, C., Jin, S., Ye, J., & Na, G. (2021). Spatial distribution of cumulative impact on terrestrial ecosystem of the Fildes Peninsula, Antarctica. *Journal of Environmental Management*, 279, 111735. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111735>
  - Gordo, O., Brotons, L., Herrando S., & Gargallo, G. (2021). Rapid behavioural response of urban birds to COVID19 lockdown. *Proc. R. Soc. B* 288: 20202513. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.2513>
  - Groom, M. J., Meffe, B. K. & Carroll, C. R. (2006). “Principles of Conservation Biology,” 3rd Edition, Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, USA.
  - K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics (2022). Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software (Version 1.6.4) [Computer software]. Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology. Available from <https://ravensoundsoftware.com/>.
  - Laiolo, P. (2010). The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. *Biological Conservation*, doi:10.1016/j.biocon.2010.03.025
  - Lecocq, T., Hicks, S. P., van Noten, K., van Wijk, K., Koelemeijer, P., de Plaen, R. S. M., Massin, F., Hillers, G., Anthony, R. E., Apoloner, M. T., Arroyo-Solórzano, M., Assink, J. D., Büyükkapınar, P., Cannata, A., Cannavo, F., Carrasco, S., Caudron, C., Chaves, E. J., Cornwell, D. G., . . . & Xiao, H. (2020). Global quieting of high-frequency seismic noise due to COVID-19 pandemic lockdown measures. *Science*, 369(6509), 1338–1343. <https://doi.org/10.1126/science.abd2438>
  - Lee, J. R., Raymond, B., Bracegirdle, T. J., Chadès, I., Fuller, R. A., Shaw, J. D., & Terauds, A. (2017). Climate change drives expansion of Antarctic ice-free habitat. *Nature*, 547(7661), 49-54. <https://doi.org/10.1038/nature22996>
  - Long, A. M., Colón, M. R., Bosman, J. L., Robinson, D. H., Pruett, H. L., McFarland, T. M., Mathewson, H. A., Szewczak, J. M., Newnam, J. C., & Morrison, M. L. (2016). A before-after control-impact assessment to understand the potential impacts of highway construction noise and activity on an endangered songbird. *Ecology and Evolution*, 7(1), 379–389. <https://doi.org/10.1002/ece3.2608>
  - Pertierra, L. R., Hughes, K. A., Vega, G. C., & Olalla-Tárraga, M. Á. (2017). High Resolution Spatial Mapping of Human Footprint across Antarctica and Its Implications for the Strategic Conservation of Avifauna. *PLOS ONE*, 12(1), e0168280. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168280>
  - Peter, H. U., Buesser, C., Mustafa, O., & Pfeiffer, S. (2008). Risk assessment for the Fildes Peninsula and Ardley Island, and development of management plans for their designation as Specially Protected or Specially Managed Areas. German Federal Environment Agency, Dessau.
  - Pijanowski, B. C., Farina, A., Gage, S., Dumyahn, S., & Krause, B. (2011). What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape Ecology*, 26, 1213-1232. <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9600-8> (b)
  - Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., Gage, S. H., & Pieretti, N. (2011). Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape. *BioScience*, 61(3), 203-216. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.6> (a)

- Ross, S. R. J., Friedman, N. R., Yoshimura, M., Yoshida, T., Donohue, I., & Economo, E. P. (2021). Utility of acoustic indices for ecological monitoring in complex sonic environments. *Ecological Indicators*, 121, 107114. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107114>
- RStudio Team (2021). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- SCAR. (2018). Anthropogenic Noise in the Southern Ocean: An Update (IP N.o 28). Antarctic Treaty Consultative Meeting XLI. <https://www.scar.org/antarctic-treaty/actm-papers/atcm-xli-andcep-xxi-2018-buenos-aires-argentina/5185-atcm41-ip028/file/>
- SCAR. (2019). Anthropogenic Noise in the Southern Ocean: An Update (WP N.o 68). Antarctic Treaty Consultative Meeting XLII. <https://scar.org/antarctic-treaty/actm-papers/atcm-xlii-and-cepxxii-2019-prague-czech-republic/5308-atcm42-wp068/file/>
- SCAR. (2021). Anthropogenic Noise in the Southern Ocean: An Update (Bulletin N.o 204). Scott Polar Research Institute. <https://www.scar.org/scar-library/reports-and-bulletins/scarbulletins/5589-scar-bulletin-204/file/>
- SCAR. (2023). Anthropogenic noise in Antarctic terrestrial environments (IP N.o 100). Antarctic Treaty Consultative Meeting XLV. <https://www.scar.org/scar-library/search/policy/antarctic-treaty/atcm-xlv-and-cep-xxv-2023-helsinki-finland/5932-atcm45-ip100/file/>
- Sueur, J. (2018). Sound Analysis and Synthesis with R. Use R! <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77647-7>
- Sueur J, Aubin T, Simonis C (2008). seewave: a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, 18: 213-226
- Tin, T., Fleming, Z. L., Hughes, K. A., Ainley, D. G., Convey, P., Moreno, C. A., Pfeiffer, S., Scott, J., & Snape, I. (2009). Impacts of local human activities on the Antarctic environment. *Antarctic Science*, 21(1), 3-33. Cambridge Core. <https://doi.org/10.1017/S0954102009001722>
- Uwe, L., Krey, S., Mersmann, O. & Schnackenberg, S. (2018). tuneR: Analysis of Music and Speech. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=tuneR>
- Underwood, A. (1992). Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 161(2), 145–178. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(92\)90094-q](https://doi.org/10.1016/0022-0981(92)90094-q)
- Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D., François, R., Golemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T. L., Miller, E., Bache, S. M., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D. P., Spinu, V., Takahashi, K., Vaughan, D., Wilke, C., Woo, K., & Yutani, H. (2019). "Welcome to the tidyverse." *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. doi: 10.21105/joss.01686 (URL: <https://doi.org/10.21105/joss.01686>).
- Wickham, H. (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag, New York.