



CONTAMINANTES EN AVES MARINAS DE SUDAMÉRICA, UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

POLLUTANTS IN SEABIRDS FROM SOUTH AMERICA, A SYSTEMATIC REVIEW

María B. Romero¹, Leila Chiodi¹, Marcela Gerpe¹ & Paula Polizzi¹

¹Toxicología Ambiental, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN), Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), Funes 3250, CC1260, 7600 Mar del Plata, Argentina

*mbromero@mdp.edu.ar

RESUMEN: Los contaminantes ambientales representan una amenaza global para los organismos y la conservación de la biodiversidad en todo el mundo. Las aves marinas se distinguen de las demás aves por hacer uso tanto del ambiente terrestre como el marino, exponiéndose a una variedad de contaminantes. Debido a esto y su posición trófica, pueden acumular niveles elevados de contaminantes en sus tejidos, que pueden provocar efectos negativos en estos organismos y como consecuencia en sus poblaciones y ecosistemas. En consecuencia, es necesario relevar periódicamente las poblaciones naturales, conocer el estado de situación y generar análisis integrales que brinden información relevante para la conservación de estas especies. Los ambientes marinos costeros de Sudamérica no están exentos del impacto de contaminantes. Debido a que las aves marinas son consideradas buenas monitoras de la calidad ambiental, es importante conocer qué información nos brindan sobre la presencia de los contaminantes en estos ambientes. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión sistemática es realizar un análisis integral del estado de conocimiento de los contaminantes orgánicos persistentes (plaguicidas organoclorados, bifenilos policlorados y polibromados), hidrocarburos aromáticos policíclicos, elementos traza y contaminantes emergentes (plásticos, fármacos, cuidado personal, plaguicidas de uso actual, entre otros) en las aves marinas de Sudamérica, identificando procesos de bioacumulación en las especies, posibles efectos asociados a la presencia de contaminantes y poblaciones más vulnerables. Se buscará identificar brechas de conocimiento en la región con el fin de fortalecer proyectos a futuro.

PALABRAS CLAVE: *aves, biomonitor, contaminantes orgánicos persistentes, elementos traza no esenciales, hidrocarburos, plásticos*

ABSTRACT: Environmental pollutants represent a global threat to organisms and biodiversity conservation around the world. Seabirds are distinguished from other birds by making use of both the terrestrial and marine environments, exposing themselves to a variety of pollutants. Due to this and their trophic position, they can accumulate high levels of contaminants in their tissues, which can cause negative effects on these organisms and, as a consequence, on their populations and ecosystems. Consequently, it is necessary to periodically survey natural populations, understand the status of the situation and conduct comprehensive analyses that provide relevant information for the conservation of these species. The coastal marine environments of South America are not exempt from the impact of pollutants. Because seabirds are considered good monitors of environmental quality, it is important to know what information they provide us about the presence of contaminants in these environments. Therefore, the objective of this systematic review is to perform a comprehensive analysis of the state of knowledge of persistent organic pollutants (organochlorine pesticides, polychlorinated and polybrominated biphenyls), polycyclic aromatic hydrocarbons, trace elements and emerging pollutants (plastics, pharmaceuticals, personal care, pesticides in current use, among others) in South American seabirds, identifying bioaccumulation processes in the species, possible effects associated with the presence of contaminants, and populations that are more vulnerable. We will seek to identify knowledge gaps in the region in order to strengthen future projects.

KEYWORDS: *biomonitor, birds, hydrocarbons, non-essential trace elements, persistent organic pollutants, plastics*

La creciente presión antrópica sobre los ecosistemas marinos, como la pesca, la explotación petrolera y otras actividades humanas, representa un problema para la conservación de la vida silvestre y la integridad ecológica de estos ambientes. En este contexto, la distribución generalizada de contaminantes constituye una amenaza potencial para los organismos que allí habitan y, las áreas geográficas de los países desarrollados o en vías de desarrollo como los sudamericanos, son más susceptibles al aumento de los niveles de contaminación (Llorca et al. 2017).

La ecotoxicología es la rama de la toxicología que evalúa los efectos de los contaminantes en los componentes de los ecosistemas en un contexto integrado. Por lo tanto, se ocupa del destino de los contaminantes en los sistemas aire-agua-suelo-sedimentos, las tramas tróficas y cómo afectan la vida y los ecosistemas a corto y largo plazo (Gouveia et al. 2019).

Las aves marinas son aquellas aves que dependen del mar para su alimentación, pero regresan al continente durante su etapa reproductiva e incluyen pingüinos, gaviotas, gaviotines, cormoranes, petreles, albatros, escúas, entre otros (Harrison et al. 2021, Signa et al. 2021). Son un componente integral de los ecosistemas marinos y costeros, y presentan características que las convierten en uno de los grupos más vulnerables dentro de las aves debido a tiempos de vida prolongados, número de descendencia reducida, madurez sexual tardía (Provencher et al. 2019a). Como todos los organismos marinos, las aves no están exentas de la exposición a contaminantes y debido a su posición trófica, constituyen biomonitores sensibles de los cambios que se producen en el ambiente (Borgå et al. 2007, Le Bohec et al. 2013, Carravieri et al. 2014).

Teniendo en cuenta esta información, el objetivo de este trabajo es resumir la información cuali y cuantitativamente hallada sobre contaminantes ambientales en especies de aves marinas que habitan aguas de América del Sur. Además, identificar prioridades de investigación en pos de la conservación de este grupo vulnerable.

METODOLOGÍA

Se realizó una revisión sistemática sobre contaminantes en aves marinas de Sudamérica. Los motores de búsqueda Web of Science, Science Direct, Google Scholar y SciELO fueron utilizados para recopilar estudios internacionales y nacionales revisados por pares. Se incluyeron trabajos publicados en revistas

científicas con evaluación de pares donde se informó sobre el tipo y la concentración de contaminantes en las distintas especies de aves pertenecientes a la región de Sudamérica. No se contemplaron aquellos trabajos que no presentaron concentraciones de los contaminantes seleccionados para esta revisión, así mismo se excluyeron los estudios experimentales, ponencias en congresos, estudios de ensayos de campo, capítulos de libros o informes.

Inicialmente, se encontraron un aproximado de 16 400 artículos relacionados con el análisis de contaminantes en aves al utilizar como palabras clave “contaminantes”, “aves” y “Sudamérica”, tanto en castellano, portugués como inglés. Luego se realizó una búsqueda donde se filtró por zona (países sudamericanos), especie (aves marinas) y tipo de contaminantes (compuestos orgánicos persistentes, elementos traza no esenciales, contaminantes emergentes). Para ello, utilizamos diferentes combinaciones de nombres y siglas de contaminantes (“bifenilos policlorados –PCBs–”, “plaguicidas organoclorados”, “éteres de polibromodifenilos –PBDEs–”, “hidrocarburos aromáticos policíclicos –PAHs–”, “plásticos”, “plaguicidas de uso actual”, “fármacos”, “productos de cuidado personal”, “sustancias perfluoroalquiladas –PFAS–”, “elementos traza no esenciales”, “metales pesados”, “cadmio”, “mercurio”, “plomo”, “arsénico”) y países sudamericanos como palabras clave junto con “aves marinas”, “petreles”, “gaviotas”, “pingüinos”, “albatros” y géneros de las especies más características de las regiones marinas sudamericanas (“*Spheniscus*”, “*Larus*”, “*Puffinus*”, “*Diomedea*”, “*Procellaria*”, “*Thalassarche*”, “*Sula*”, “*Fregata*”). También se revisaron las referencias de las publicaciones recopiladas para garantizar que se incluyeran todos los estudios relevantes. Se fijó un período de tiempo, considerando los últimos 20 años (2004- enero 2024). Finalmente, se incluyeron 85 estudios en la revisión.

De cada estudio, se recopilaron especies, tipos y concentraciones de contaminantes, tipos y cantidad de muestras, años de muestreo, lugares de muestreo y métodos analíticos empleados. Los contaminantes se clasificaron en cuatro clases principales: compuestos orgánicos persistentes (que incluyen plaguicidas organoclorados, PCBs y PBDEs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), elementos traza no esenciales y contaminantes emergentes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Generalidades

La información encontrada sobre contaminantes

en aves marinas sudamericanas publicada entre los años 2004 y 2024 se sintetiza en la Figura 1. Durante el año 2020 y 2023 se publicaron la mayor cantidad de trabajos, con un total de ocho (8) cada uno, seguido por 2017 y 2022 con seis (6) publicaciones en cada año (Fig. 1A).

En términos generales, si se considera a los grandes grupos de contaminantes, un 43% de los trabajos estuvieron en relación con compuestos orgánicos (incluyendo plaguicidas organoclorados –POCs–, PAHs, PCBs y PBDEs), seguidos compuestos emergentes (29%) y por último por elementos traza con un 28%. En cambio, si consideramos a cada grupo de compuestos orgánicos por separado, la mayor cantidad de trabajos publicados se basan en investigaciones sobre las concentraciones de elementos traza en aves marinas, seguido por plásticos (Fig. 1B).

En relación con los países donde se llevaron a cabo los muestreos, en Brasil se desarrollaron la mayor cantidad de publicaciones, seguido por Argentina (Fig. 1C). Analizando los países sudamericanos con litoral marítimo no se encontraron trabajos en los territorios de Guyana, Surinam, Trinidad y Tobago y Venezuela. Considerando el lugar de trabajo de los autores, podemos mencionar que el 68% de los trabajos considerados en esta revisión corresponden a filiaciones de un sólo país, pertenecientes a un único grupo (12

trabajos) o interacción de diversos grupos de la misma nacionalidad. El 32% restante fueron colaboraciones entre dos o más países, principalmente con investigadores de Estados Unidos o países de Europa como Reino Unido, Alemania, España y Francia, entre otros.

En cuanto a las especies estudiadas, también se observaron mayores investigaciones en Brasil (Fig. 1C), con un total de 56 especies, siendo el Pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) el más analizado (17 trabajos). En Argentina, fueron publicados cinco (5) trabajos en esta especie. Esto está en estrecha relación con que, dentro de las aves marinas, los pingüinos son considerados buenos biomonitores del ambiente marino costero (González Carman et al. 2021, Gimeno et al. 2024). En Chile y Uruguay, la especie predominante fue *Larus dominicanus*, con 4 y 2 reportes publicados.

Una gran variedad de matrices fue analizada: tejidos internos, tejidos externos (plumas), fluidos corporales (sangre y bilis), excreciones (pellets, excretas) y huevos. En aves marinas de Sudamérica, el contenido estomacal, las plumas y el hígado fueron las matrices más analizadas (Fig. 1D). El hígado fue, históricamente, el tejido indicador más utilizado ya que es considerado el órgano detoxificador y acumulador por excelencia (Lehman-McKeeman 2008). Sin embargo, en las últimas décadas, los estudios sobre órganos y tejidos

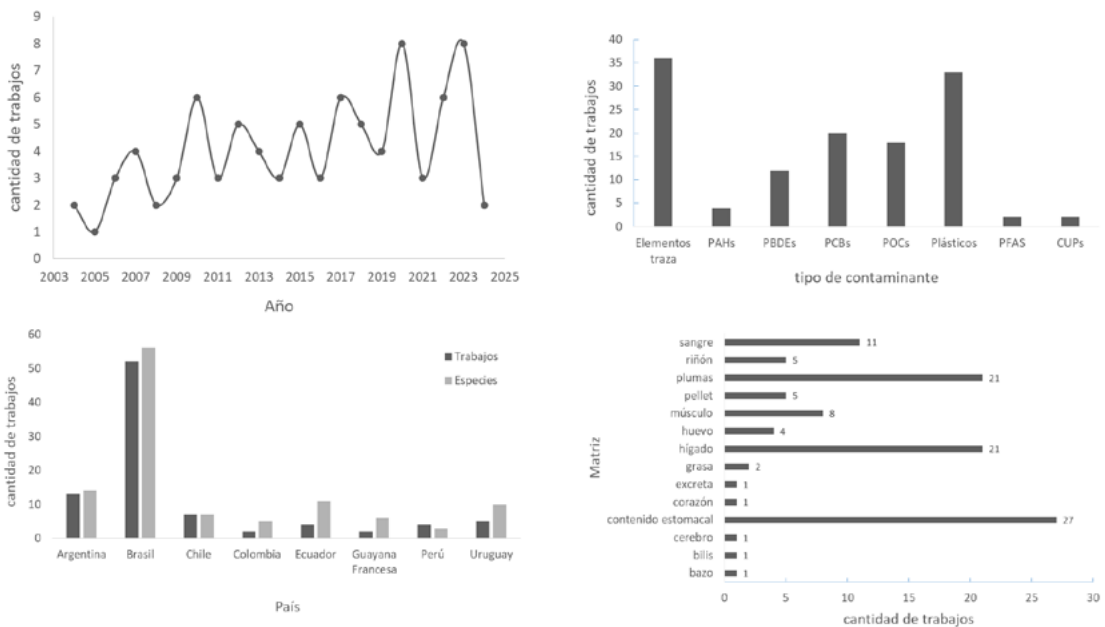


Figura 1. A) Cantidad de trabajos por año de publicación desde el año 2004 a 2024. B) Cantidad de trabajos publicados en relación con el contaminante de estudio en aves marinas de Sudamérica. C) Cantidad de trabajos publicados y cantidad de especies por país donde se realizó el muestreo. D) Cantidad de trabajos por matriz analizada.

internos en aves marinas se limitan a muestras de carcasas (ejemplares hallados muertos), de las cuales se debe garantizar tener un buen estado de conservación para poder llevar adelante estudios serios de toxicología (Rutkowska et al. 2018, Pacyna-Kuchta 2023). La selección del contenido estomacal (o gastrointestinal, dependiendo de los estudios) como base de análisis está relacionada con la gran cantidad de trabajos que reportaron la presencia de desechos plásticos, en la mayoría de los casos asociados a estudios de dieta. El hígado fue el segundo tejido interno más analizado, mientras que las principales muestras no destructivas analizadas fueron las plumas. En esta matriz, los contaminantes se pueden incorporar por tres vías que dependen de las propiedades físico-químicas de los compuestos y de la exposición ambiental: i) durante el crecimiento de las plumas, ii) durante el acicalamiento y iii) a través del contacto con el medio ambiente (aire, polvo y agua; Jaspers et al. 2019). La sangre también fue utilizada para la detección de contaminantes en la región, y los niveles en esta matriz representan una exposición reciente al compuesto directamente asociada con la alimentación (Carvalho et al. 2013).

Otras matrices no destructivas que se utilizan comúnmente como indicadores para medir los niveles de exposición a contaminantes en poblaciones silvestres son las heces (Yin et al. 2008, Provencher et al. 2018, Eeva et al. 2020), las estructuras de regurgitado (“pellets”) que producen algunas especies (Espín et al. 2016) y los huevos que reflejan los contaminantes acumulados en las hembras en el momento de la puesta (Bianchini et al. 2022). En los trabajos utilizados en esta revisión estas matrices fueron analizadas, pero en un número bajo de publicaciones (entre 1 y 5).

Del análisis de los trabajos hallados, y coincidentemente con los expresado por González-Rubio y colaboradores (2021), no existe un tejido óptimo que pueda sintetizar la información sobre contaminantes en aves, por el contrario, la elección de la matriz a utilizar dependerá de la naturaleza del compuesto, de los objetivos de trabajo y de los alcances metodológicos (Espín et al. 2016).

Contaminantes orgánicos persistentes

Los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) son sustancias químicas orgánicas y poseen propiedades físicas y químicas que los hacen persistentes una vez liberados al medio ambiente (permanecen intactos durante periodos de tiempo excepcionalmente largos), se pueden transportar largas distancias (por lo que se los puede encontrar alejados de la fuente

de emisión), se bioacumulan y biomagnifican, y son tóxicos para organismos no blanco (pueden provocar cáncer, alergias e hipersensibilidad, daños al sistema nervioso, trastornos reproductivos y alteraciones del sistema inmunológico) (UNEP 2019). Los COPs están prohibidos y regulados a nivel mundial por el Convenio de Estocolmo (PNUMA 2011).

Un plaguicida se define como “cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga incluyendo: los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y subproductos o alimentos para animales, o que pueden administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos (FAO & OMS 2023). El término incluye, entre otros: herbicidas, fungicidas, insecticidas, acaricidas, nematocidas, molusquicidas, reguladores del crecimiento, repelentes, rodenticidas y biocidas (Pórfido 2013, ECP 2024). En particular, los plaguicidas organoclorados, son aquellos compuestos orgánicos que presentan cloro dentro de su molécula, y son considerados COPs por su elevada toxicidad, lipofiliidad y resistencia a la degradación. Aldrin, clordano, dicloro difenil tricloroetano (DDT), dieldrin, endrin, heptachlor, hexaclorobenceno, mirex y toxafeno son ejemplos de POCs, y fueron los primeros plaguicidas listados en el Convenio de Estocolmo, dentro de la conocida “docena sucia” (UNEP 2019).

Los bifenilos policlorados (PCBs por sus siglas en inglés) son COPs que se producen por cloración de bifenilos y comprenden 209 congéneres individuales (UNEP 2019). Los PCBs presentan baja conductividad eléctrica y alta conductividad térmica por lo que fueron utilizados ampliamente en numerosas aplicaciones industriales. En la región, se han utilizado principalmente en equipos eléctricos. Los residuos de PCB de formulaciones comerciales (por ejemplo, Aroclor 1242, 1254, 1260 y productos equivalentes) son ubicuos en el ambiente (Barra et al. 2006). La toxicidad de los PCBs depende no sólo de su persistencia sino también del número y la posición de los átomos de cloro y sus mezclas (Klocke & Lein 2020, Liu et al. 2020).

Los éteres de bifenilo polibromados (PBDEs por sus siglas en inglés) son una familia de 209 congéneres, clasificados según el número y la posición de los átomos de bromo. Se utilizan ampliamente como retardantes de llama para productos electrónicos,

materiales de construcción, muebles, espumas, textiles y piezas de automóviles (Chen et al. 2013). Existen evidencias de efectos adversos en organismos que incluyen disrupción endócrina, genotoxicidad, neurotoxicidad e inmunotoxicidad (Berger et al. 2023). Los congéneres de PBDE en las mezclas comerciales de pentaBDE, octaBDE y decaBDE están incluidos como COPs en el Convenio de Estocolmo (UNEP 2019).

La diversidad en las características ecológicas y biológicas de las aves marinas evaluadas en la región, como la distribución, hábitos tróficos y migratorios, clases de edad, sexo, la condición corporal, entre otros factores, no permite identificar patrones claros de contaminación (Colabuono et al. 2012). Sin embargo, podemos mencionar a grandes rasgos que los PCBs y los POCs fueron los COPs más analizados. A pesar de estar prohibidos y regulados, la presencia de estos compuestos puede deberse a un gran uso en el pasado y a la gran persistencia en el ambiente. El grupo de proclorofenilos presentó los máximos niveles COPs en hígado (Fig. 2A), mientras que en *S. humboldti* se encontraron las mayores concentraciones en sangre (Fig. 2B). Los PBDEs fueron los compuestos que presentaron menores concentraciones en todas las matrices analizadas, en la mayoría de los casos por debajo del límite de detección y cuantificación (Anexo 1).

La presencia de POCs estaría relacionado con su aplicación intensiva en la actividad agrícola, la cual es predominante en muchas regiones de Sudamérica, siendo Brasil y Argentina los mayores usuarios de pesticidas en América del Sur (Girones et al. 2020). En términos de POCs individuales, el DDT y sus productos de degradación, los hexaclorociclohexanos (HCHs), y los endosulfanes fueron los más abundantes.

El DDT fue uno de los plaguicidas utilizados a nivel mundial, y en Sudamérica fue usado, producido y for-

mulado desde 1950 hasta 1990 (Girones et al. 2020). El efecto tóxico más conocido del DDT sobre la vida silvestre fue observado en aves, ya que se observó adelgazamiento de la cáscara de los huevos frente a la exposición a estos compuestos (Ratcliffe 1967). Está incluido en la lista “docena sucia” del Convenio de Estocolmo, aunque se permite su uso en ciertas regiones del mundo como control del mosquito vector de la malaria. Las mayores concentraciones de Σ DDTs en hígado correspondieron a aves marinas de Brasil, en coincidencia con los mayores niveles de este plaguicida observados en Brasil respecto al resto de la región (Girones et al. 2020). La distribución relativa del DDT y sus metabolitos se ha utilizado para estimar el tiempo transcurrido desde la aplicación de la mezcla comercial de este compuesto. En los organismos, una relación metabolitos (DDE +DDD) /parental superior a 1 es utilizada como como indicador de que ha transcurrido un tiempo prolongado desde la aplicación de la mezcla comercial (Quadri Adrogué et al. 2021). En la mayoría de los estudios revisados, el mayor compuesto detectado fue el metabolito DDE, lo que indica una exposición no reciente a estos compuestos. La aparición de DDE en aves marinas puede deberse tanto a la acumulación directa a través de la dieta como al metabolismo del DDT (Quadri-Adrogué et al. 2019).

El endosulfán es un insecticida y acaricida del grupo de los ciclodienos ampliamente utilizado en la región en cultivos de hortalizas, frutales, cereales, algodón, té, café, cacao, soja, entre otros (González et al. 2008, Villaamil Lepori et al. 2013). La presencia de endosulfán fue reportada en *S. magellanicus* (Quinete et al. 2020), *Larus atlanticus* (Commendatore et al. 2018, Quadri-Adrogué et al. 2021), *Daption capense*, *Thalassarche melanophrys* (Quadri-Adrogué et al. 2019). Si bien este compuesto se encuentra regulado dentro del Convenio de Estocolmo, su incorporación fue re-

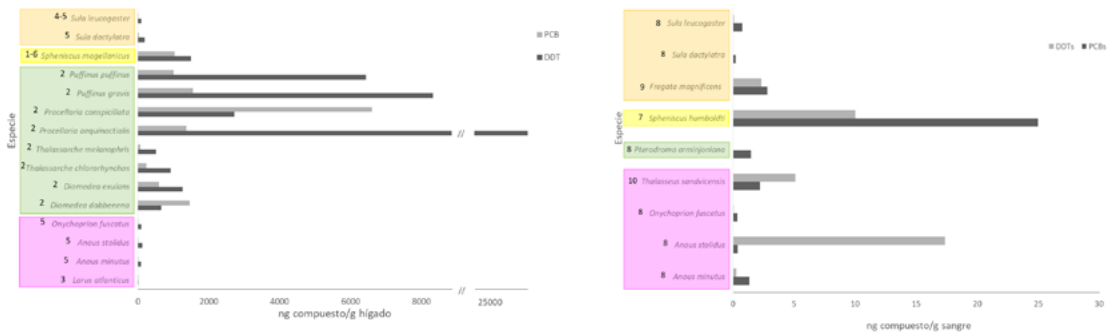


Figura 2. Concentraciones máximas de PCBs y DDTs reportadas en aves marinas de Sudamérica. A) hígado, B) sangre. 1. Baldassin et al. (2016), 2. Colabuono et al. (2012), 3. Commendatore et al. (2018), 4. Dias et al. (2013), 5. Dias et al. (2018), 6. Quinete et al. (2020), 7. Adkesson et al. (2018), 8. da Silva et al. (2023), 9. Sebastiano et al. (2016), 10. Sebastiano et al. (2017).

lativamente reciente comparada con otros POCs. Por lo tanto, es esperable encontrar concentraciones de endosulfán en las aves de Sudamérica teniendo en cuenta que los años de muestreo se encontraron dentro del período de mayor utilización.

La presencia de PCBs fue objeto de estudio en las aves marinas de la región. En general, los congéneres de PCBs encontrados en aves fueron los penta (ej., 99 y 118), hexa y hepta clorados. La mayoría de las aves son capaces de transformar y eliminar congéneres de PCB pero de bajo peso molecular (Maervoet et al. 2004), mientras que los PCBs con mayor número de cloros presentan tasas de excreción bajas, y por lo tanto tienden a acumularse. De todos modos, en ejemplares de *S. magellanicus* de Brasil se observó una disminución de las concentraciones de PCBs en hígado entre 2008 y 2012 (Baldassin et al. 2016), situación que también fue informada para otros grupos biológicos de la región, como el delfín Franciscana (*Pontoporia blainvillei*) de aguas argentinas (Arias et al. 2016). Torget et al. (2024) atribuye la disminución significativa en los niveles de POPs, incluyendo PCBs, a la regulación internacional. Sin embargo, se sugiere continuar con el monitoreo para evaluar esta tendencia temporal en otras especies y regiones de Sudamérica.

Como se mencionó anteriormente, factores como la dieta, condición corporal, sexo y estadio madurativo pueden influenciar las concentraciones de COPs en las aves. Por ejemplo, Quadri-Adrogué et al. (2019) encontró mayores niveles de COPs en machos comparados con hembras de *L. atlanticus*. Estas diferencias pueden atribuirse a la “detoxificación” de las hembras durante la formación de huevos, así como a diferencias en la dieta y la selección de áreas de alimentación (Borgå et al. 2007). En este mismo trabajo, se observaron concentraciones más elevadas de COPs en juveniles, en comparación con las de adultos y subadultos, hecho que podría estar reflejando la carga de contaminantes que se han incorporado desde el huevo durante la temporada de reproducción. Por el contrario, se hallaron mayores concentraciones de COPs en adultos comparados con juveniles por ejemplo en *A. minutus*, *O. fuscatus* y *S. dactylatra* (Dias et al. 2018) y en *A. minutus*, *T. sandvicensis* y *F. magnificens* (Sebastião et al. 2017), seguramente asociado a procesos de bioacumulación y a la diferencia en las dietas.

Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs o PAHs por sus siglas en inglés) son una serie de compuestos orgánicos persistentes (vida media > 6 meses)

formados por dos o más anillos aromáticos condensados y son constituyentes naturales del petróleo crudo, que conforman una fracción de hasta el 20% del total de sus hidrocarburos. De todos los hidrocarburos, este grupo de compuestos es potencialmente el más tóxico (Honda & Suzuki 2020). Las principales fuentes que afectan la presencia y distribución de estos compuestos en el ambiente marino son antropogénicas, como los grandes derrames de petróleo de buques cisterna o vertidos menores de buques, deposición atmosférica de compuestos resultantes de la quema de combustibles fósiles y actividades asociadas con la exploración y explotación de petróleo en alta mar (Almeida et al. 2018).

Las aves pueden acumular HAP en sus tejidos y presentan numerosos efectos a corto y largo plazo, incluyendo cambios patológicos en el sistema digestivo, hígado y riñón, anemia hemolítica, inmunotoxicidad y disrupción endocrina (Gurney et al. 2005, Troisi et al. 2016, King et al. 2021), incluso a concentraciones bajas. Debido a su toxicidad y persistencia en el medio ambiente, generan preocupación cuando son detectados en matrices biológicas.

En Sudamérica, existen numerosos reportes sobre las concentraciones de HAPs en diferentes matrices, principalmente asociados a los ambientes costeros (Nunes et al. 2021). Se han detectado HAPs en la biota marina y estuarial a lo largo de la costa sudamericana como en moluscos (Palma-Fleming et al. 2008, Commendatore et al. 2015, Primost et al. 2018, Magalhães et al. 2022), crustáceos (Nudi et al. 2010, Commendatore et al. 2018, Magalhães et al. 2022) y peces (da Silva et al. 2007, Burgos-Núñez et al. 2017, Oliva et al. 2017, de Albergaria-Barbosa et al. 2018, Recabarren-Villalon et al. 2019, Magalhães et al. 2022). Por lo tanto, la exposición en las aves podría producirse por la ingesta de especies contaminadas. A pesar de esta información, sólo tres trabajos reportaron las concentraciones de estos contaminantes en aves marinas (Tabla 1). Los niveles de PAHs totales en *S. magellanicus* muestreados en el sureste de Brasil fueron mayores en hígado (media: 1.71 µg/g) que en músculo (media: 0.14 µg/g) (Quinete et al. 2020). Estos valores se encontraron dentro del rango hallado en ambientes moderadamente y/o altamente contaminados (Albers & Loughlin 2003). Esto genera preocupación con respecto a la exposición ambiental a HAP para esta y otras especies de aves marinas, y los efectos adversos que la exposición crónica a hidrocarburos pueda generar. Los HAPs detectados con mayor frecuencia fueron trans-decalina (41%), naftaleno (46%), fenantreno (41%) y hopano-C30

(55%) indicando un origen petrogénico. En vertebrados, una vez que los HAPs son incorporados, los mismos son metabolizados en el hígado, y los metabolitos producidos se secretan en la bilis, almacenándose en la vesícula biliar para luego ser excretados en las heces (Ruddock et al. 2002). Barreto et al. (2020) analizaron por primera vez en *S. magellanicus* de Brasil metabolitos de hidrocarburos en muestras de bilis como biomarcadores de exposición. Los metabolitos de naftaleno seguidos por fenantreno fueron predominantes en las muestras biliares, lo que es indicativo de fuentes petrológicas, en concordancia con lo observado por Quinete et al. (2020) para la especie.

Burgos-Núñez et al. (2017) evaluaron las concentraciones de HAPs en distintas matrices de la Bahía de Cispatá en el norte de Colombia, incluidas dos especies de aves residentes (*Pelecanus occidentalis* y *Fregata magnificens*), y dos de aves migratorias (*Phalacrocorax brasilianus* y *Thalasseus maximus*). Se detectaron concentraciones de HAPs en todas las muestras analizadas, donde el naftaleno y fluoranteno presentaron las mayores concentraciones (26 y 6 ng/ml, respectivamente). Al igual que en los otros trabajos de la región, los resultados de perfiles de HAPs demuestran el origen petrogénico de estos compuestos, asociada a la actividad portuaria de la región.

A pesar de la intensa actividad de explotación petrolera, así como de otras actividades humanas que aportan HAPs al mar en los ambientes marinos y costeros de Sudamérica, son muy pocos los trabajos que evalúan estos contaminantes en aves en los últimos 20 años. Consideramos que es necesario extender este tipo de estudios en toda la región para una mejor comprensión de la biodisponibilidad de los HAPs y su

impacto en las aves marinas.

Elementos traza

Los elementos traza son metales y/o metaloides que ocurren naturalmente en el ambiente. Sin embargo, la actividad del hombre puede modificar sus ciclos biogeoquímicos y hacerlos más disponibles para la biota (Wang et al. 2021). Las fuentes naturales de los elementos traza son el vulcanismo, la erosión del suelo, los incendios forestales, así como los movimientos de surgencia en los océanos. La extracción, uso y una mala disposición final de los elementos y los productos que se generan, así como actividades como la extracción y refinamiento del petróleo aumentan las concentraciones de elementos en los ecosistemas (Akinlua & Smith 2010, Richir & Gobert 2016).

Los elementos traza se pueden clasificar en esenciales, por ejemplo cobre y zinc, y no esenciales, como cadmio y mercurio. Los primeros son requeridos por los organismos para poder realizar funciones vitales, y tanto una falta o exceso de los mismos pueden provocar efectos adversos (Duffus 2002, Palmar & Thakur 2013). Los elementos no esenciales son aquellos que no presentan funciones biológicas conocidas y muestran síntomas de toxicidad en los organismos dependiendo del tiempo y concentraciones de exposición (Engwa et al. 2019). En esta revisión, nos centraremos en la evaluación de elementos traza no esenciales con relevancia ecotoxicológica en aves marinas (Tabla 2), dado que son los que presentan una mayor preocupación a nivel ambiental.

En términos generales, el cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg), fueron los elementos más analizados en

Tabla 1. Concentraciones de hidrocarburos aromáticos (PAHs) policíclicos en aves marinas de Sudamérica. HPLC/F: cromatografía líquida de alto rendimiento con detector de fluorescencia. *Incluye: *Pelecanus occidentalis* (n = 11), *Fregata magnificens* (n = 7), *Phalacrocorax brasilianus* (n = 10), *Thalasseus maximus* (n = 5).

Especie	Compuesto	País	Año de muestreo	N	Tejido	Concentración (media)	Rango	Unidad	Método de análisis	Referencia
<i>Spheniscus magellanicus</i>	Σmetabolito PAHs	Brasil	2008	79	bilis		<0.33–270	µg/g	HPLC/F	Barreto et al. (2020)
	ΣPAHs	Brasil	2012	9	hígado	1.71	0.11 – 8.77	µg/g p.s.	GC-MS/MS	Quinete et al. (2020)
	ΣPAHs	Brasil	2012	13	músculo	0.14	<LC – 1.02	µg/g p.s.	GC-MS/MS	
Aves marinas residentes y migratorias*	ΣPAHs	Colombia	2010–2011	32	plasma	0.066		µg/ml	GC-MS	Burgos-Núñez et al. (2017)

aves marinas. Al igual que para otros contaminantes, la cantidad de reportes de origen brasilero fue mayor. Las matrices más analizadas fueron plumas, hígado y sangre. Las concentraciones en plumas en juveniles pueden reflejar los niveles de exposición durante el crecimiento, mientras que en adultos reflejan las concentraciones de exposición entre mudas. Además, los diferentes tipos de pluma pueden dar información diferente. Por ejemplo, Bighetti et al. (2022) analizó las concentraciones de Hg en diferentes tipos de plumas de *S. leucogaster* y se identificaron diferencias entre ellas de acuerdo a la zona del cuerpo, seguramente debido a la fisiología, proponiendo a las plumas ventrales como matriz para el biomonitoreo de este metal, ya que presentó las mayores concentraciones (6.46 ± 1.19 µg/g). Por el contrario, Brasso et al. (2013) reportó baja variabilidad en las concentraciones de Hg entre distintos tipos de plumas de dos especies de pingüinos.

Los elementos traza no esenciales pueden sufrir procesos de bioacumulación (Barbieri et al. 2010), por lo tanto es esperable que los adultos presenten concentraciones mayores comparados con juveniles (o pichones, según el estudio). Esto quedó demostrado en algunos trabajos por ejemplo para las especies *S. magellanicus* (Frias et al. 2012), *S. leucogaster* (Bighetti et al. 2021), *L. dominicanus* (Barbieri et al. 2010).

En aves marinas el Cd se considera tóxico cuando se presenta en concentraciones mayores a 5 µg/g (Burger & Gochfeld 2004). En *L. dominicanus* de Chile (Cortés & Luna-Jorquera 2011) las concentraciones del metal estuvieron por encima de este valor, aunque estos valores no se asociaron a daño hepático en la especie. Se ha demostrado que las concentraciones elevadas de ciertos metales como Cd y zinc (Zn) en hígado y riñón, inducen la síntesis de metalotioneínas (MTs), proteínas de bajo peso molecular rica en cisteína. Las MTs actúan en la homeostasis de elementos esenciales y protegen contra la toxicidad de metales pesados, especialmente Cd (Stewart et al. 1996, Braune & Scheuhammer 2008). Esto podría explicar la ausencia de daño observada en *L. dominicanus*. En aves marinas de Sudamérica, se encontró una relación positiva entre los niveles de metalotioneínas y las concentraciones de Cd determinadas en *S. magellanicus* en Brasil (Kehrig et al. 2015), reforzando el papel protector y detoxificador de estas proteínas en aves.

El Hg presenta diversos efectos subletales perjudiciales para las aves (Chastel et al. 2022). La disminución del éxito reproductivo es la consecuencia más investigada y reportada de la exposición al Hg (Whitney & Cristol 2017). Se reportaron, por ejemplo, reducción del

número de huevos (Tartu et al. 2013), adelgazamiento de la cáscara y disminución del peso o volumen del huevo (Olivero-Verbel et al. 2013, Ibañez et al. 2024). También se reportaron efectos en el comportamiento, como disminución del tiempo de cuidado parental (Tartu et al. 2015) y del tiempo de forrajeo (Evers et al. 2008). Además, se observaron efectos neurotóxicos (Scheuhammer et al. 2008, Scoville & Lane 2013), alteraciones en los perfiles de algunas hormonas como corticosterona (Herring et al. 2012) y hormona luteinizante (Tartu et al. 2013, 2014), y efectos en el sistema inmunológico (Hoffman et al. 2009, Ibañez et al. 2024).

En las aves marinas de Sudamérica, especímenes de *P. occidentalis* y *F. magnificens* (Burgos-Núñez et al. 2017) presentaron concentraciones por encima del valor relacionado con efectos adversos en aves (5 µg Hg/g, Schreiber & Burger 2002). Los autores postulan que es posible que dada la capacidad de demetilación, y posterior acumulación como Hg inorgánico, estas aves marinas puedan tolerar estas concentraciones de metal. Se ha postulado que este grupo biológico puede ser menos susceptible a los efectos tóxicos del Cd y el Hg, por haber evolucionado con exposiciones naturales elevadas de estos elementos (Burger et al. 2009), aunque esta hipótesis debe ser confirmada para las especies evaluadas en cuanto a los mecanismos de detoxificación (dos Santos Lima et al. 2023).

Las concentraciones de Pb reportadas en aves marinas fueron bajas, y por lo general por debajo de las concentraciones (>4 mg/g) que se consideran inseguras para la biota (Tsipoura et al. 2011). Por lo tanto, si bien deben continuar los esfuerzos de monitoreo en diversas especies, los estudios llevados a cabo hasta el momento indican que el Pb no sería un problema para la salud de las aves marinas de Sudamérica.

En términos generales, las concentraciones reportadas en aves marinas de Sudamérica no estarían indicando niveles perjudiciales para la salud de los individuos y las poblaciones. Sin embargo, la presencia de elementos traza no esenciales, aún en niveles bajos, constituyen un riesgo para los organismos y, por lo tanto, se recomienda presentar la necesidad de monitoreos ambientales continuos, particularmente frente a un contexto de expansión humana continua.

Contaminantes emergentes

Los contaminantes de preocupación emergente o contaminantes emergentes (CEs) son compuestos que han sido detectados en el medio ambiente para los cuales actualmente no existen regulaciones o

son muy limitadas y cuyo destino, comportamiento y efectos ecotoxicológicos no se conocen en su totalidad (Thomaidis et al. 2012, Norman 2016, González-Rubio et al. 2021). Dentro de este grupo heterogéneo podemos mencionar los retardantes de llama nuevos o alternativos, sustancias perfluoroalquiladas (PFAS), productos farmacéuticos y de cuidado personal, drogas ilícitas y drogas de abuso, pesticidas polares, productos veterinarios, plásticos y aditivos, entre otros (Thomaidis et al. 2012). Las principales fuentes de CE son los efluentes domésticos e industriales, los escurrimientos de la agricultura, ganadería y acuicultura, y los lixiviados de la disposición final de residuos urbanos (Morin-Crini et al. 2022). Los datos publicados sobre la aparición y los posibles efectos toxicológicos de estos contaminantes en el ambiente marino de Sudamérica son limitados (Griffero et al. 2019, Reichert et al. 2019, Souza et al. 2022).

En esta sección se desarrollarán en detalle aquellos CE de los cuales se encontraron reportes en aves marinas de Sudamérica. Sin embargo, teniendo en cuenta la amplia y creciente variedad de CE que pueden encontrarse en el ambiente marino y que ya han sido reportados en este grupo biológico (ej., Lewis et al. 2020, 2022, Power et al. 2021, Bianchini et al. 2022, Distefano et al. 2022, Provencher et al. 2022, Sühling et al. 2022, Matos et al. 2024), es necesario mayores esfuerzos para futuros estudios.

Plaguicidas de uso actual. La prohibición de los plaguicidas incluidos en el convenio de Estocolmo (sección 1) ha devenido en el desarrollo de nuevos plaguicidas de uso actual (PUAs), los cuales suponen presentar menor persistencia en el ambiente (Gouin et al. 2008, Miglironza et al. 2021). Sin embargo, considerando el uso amplio y continuo de los PUAs en diferentes actividades como agricultura, veterinaria, uso doméstico, sanitario entre otras; estos contaminantes pueden suponer un riesgo para la vida silvestre y comportarse como compuestos “pseudopersistentes” (de Souza Guida et al. 2018). Brasil y Argentina están dentro de los países con mayor consumo de PUAs del mundo (Pathak et al. 2022, Sabzevari & Hofman 2022), y existen registros de la presencia de compuestos (como por ejemplo: insecticidas clotianidina, imidacloprid y lambda-cialotrina, fungicidas azoxistrobina y carabendazim y el herbicida glifosato y su metabolito AMPA) en distintas matrices bióticas y abióticas (Climent et al. 2019, Pérez et al. 2021, Cezarette et al. 2024). En aves marinas de Sudamérica son escasos los reportes de PUAs, concentrándose los únicos tres (3) trabajos en Argentina, resultando ser el clorpirifós el

plaguicida analizado (Tabla 3). Este compuesto es un insecticida organofosforado ampliamente utilizado en cultivos como el maíz, la soja y trigo, y es el principal insecticida utilizado en Argentina, Uruguay y Brasil (CASAFE 2012, Meire et al. 2012, Bombardi 2017).

Las concentraciones de clorpirifós en plumas de *Daption capense*, *Thalassarche melanophris* (Quadri-Adrogué et al. 2019) y *Larus atlanticus* (Quadri-Adrogué et al. 2021) fueron las más elevadas (máximo: 4551 ng/g plumas) de todos los plaguicidas analizados en los trabajos. Los juveniles de *L. atlanticus* presentaron mayores niveles que los subadultos y adultos, reflejando una exposición previa en el huevo durante la temporada de reproducción. También se observaron diferencias entre sexos donde los machos tendieron a presentar niveles relativamente mayores a las hembras para las tres especies. Las diferencias entre sexos se han atribuido a la “detoxificación” durante el proceso de formación de huevos, la especialización de la dieta, el uso diferencial de las áreas de alimentación e incluso diferencias en el tamaño corporal (Borgă et al. 2007).

Debido a la vida media corta del clorpirifós (desde 2 semanas a 1 año; Chai et al. 2013) y el intenso uso en los años muestreados (2011-2016), las concentraciones encontradas en estas especies indican una exposición reciente al plaguicida. Si bien en la actualidad el clorpirifós se encuentra prohibido para su comercialización y uso en el territorio argentino (SENASA, Resolución 414/2021), existen cientos de otros PUAs ampliamente utilizados en la región. Por lo tanto, es importante ahondar en los estudios para comprender cuál puede ser el riesgo real al que están expuestas estas y otras especies de aves marinas en las costas argentinas y en el resto de los países con uso intensivo de los mismos.

Compuestos per y polifluoroalquilados. Las sustancias perfluoroalquiladas (PFAS por sus siglas en inglés) son una familia de compuestos químicos sintéticos que constan principalmente de una estructura de carbono con flúor que satura la mayoría de los carbonos y al menos un grupo funcional, como un ácido carboxílico, ácido sulfónico, amina u otro (Thomaidis et al. 2012). Esta estructura le da características únicas, siendo lipofóbicas e hidrofóbicas, pero el grupo funcional les permite interactuar con moléculas polares. Son resistentes a la degradación por lo que los PFAS se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones industriales, comerciales y de consumo, como ser adhesivos, construcción, cerámicos, pinturas, productos de limpieza, cosméticos y productos de cuidado personal, productos electrónicos, plaguicidas, espumas

Tabla 2. Concentraciones de elementos traza no esenciales en aves marinas de Sudamérica. Los valores se expresan y como media ± DE o (rango) (µg/g). *indica que la unidad es µg/g peso seco.

Especie	Tejido	N	Cd	Pb	Hg	As	País	Año de muestreo	Referencia
Charadriiforme (Laridae)									
<i>Creagrurus furcatus</i>	pluma				9.43 ± 4.06		Ecuador	2011-2024	Zarn et al. (2020)
		10	0.07 ± 0.02	7.54 ± 1.66			Brasil	2005	Barbieri et al. (2010)
	pluma	27		(<0.01-6.48)	< LD		Brasil	2011-2013	Ebert et al. (2020)
		54	0.03 ± 0.04	5.97 ± 6.0	1.13 ± 0.13	0.75 ± 0.21	Chile	2008-2009	Sepúlveda & González-Acuña (2014)
<i>Larus dominicanus</i>	hígado	20	9.72 ± 0.11				Chile	2002	Cortés & Luna-Jorquera (2011)*
		7	(1.02-101)		(0.3-1.23)		Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
		7	1.28 ± 0.53			3.26 ± 0.42	Brasil	2010-2011	Moura et al. (2018a)
	músculo	30	0.4 ± 0.3	0.6 ± 3	3.1 ± 2	2.7±3	Brasil	2016-2018	Pedrobom et al. (2021)*
		7	0.22-2.47	0.53-0.86			Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
		8	0.37 ± 0.60			1.95 ± 0.42	Brasil	2010-2011	Moura et al. (2018a)
<i>Leucophaeus atricilla</i>	riñón		(10.2-491)				Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
	sangre	20	<LD	0.06 ± 0.04	2.5 ± 1.4	1.5 ± 1.0	Guayana Francesa	2013	Sebastiano et al. (2017)
Charadriiforme (Sternidae)									
<i>Anous stolidus</i>	sangre	20	0.05 ± 0.02	0.02 ± 0.01	1.1 ± 0.1	8.4 ± 3.9	Guayana Francesa	2013	Sebastiano et al. (2017)
<i>Onychoprion fuscatus</i>	sangre	20	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.00	0.9 ± 0.2	10.7 ± 4.9	Guayana Francesa	2013	Sebastiano et al. (2017)
<i>Thalasseus acutiflavus</i>	músculo	6	0.44 ± 0.43			2.90 ± 0.71	Brasil	2003-2006	Moura et al. (2018a)
<i>Thalasseus maximus</i>	pluma	5	2.43 ± 0.59	0.04 ± 0.31	3.57 ± 1.37		Colombia	2010-2011	Burgos-Núñez et al. (2017)
	sangre	15	<LD	0.03 ± 0.03	2.6 ± 0.7	3.9 ± 2.6	Guayana Francesa	2013	Sebastiano et al. (2017)
<i>Thalasseus sandvicensis</i>	sangre	20	<LD	0.02±<0.01	1.1 ± 0.3	8.7 ± 4.4	Guayana Francesa	2013	Sebastiano et al. (2017)
Pelecaniformes (Pelecanidae)									
<i>Pelecanus occidentalis</i>	pluma	11	2.01 ± 2.84	0.68 ± 0.25	5.15 ± 1.52		Colombia	2010-2011	Burgos-Núñez et al. (2017)
Phaethontiformes (Phaethontidae)									
<i>Phaethon aethereus</i>	pluma	99	1.17 ± 1.86	1.21 ± 2.61	0.89 ± 1.68	4.95 ± 9.47	Brasil	2019-2022	de Barros Bauer et al. (2024)
					7.47±3.64		Ecuador	2011-2022	Zarn et al. (2020)
	sangre	99	0.33 ± 0.56	0.55 ± 0.86	0.14 ± 0.20	3.08 ± 7.83	Brasil	2019-2022	de Barros Bauer et al. (2024)
Podicipediformes (Podicipedidae)									
<i>Podiceps major</i>	hígado	1	0.3	2.6	1.6		Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
	riñón	1	1	2.4			Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
<i>Podiceps occipitales</i>	hígado	1	1.1	3.6			Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
	riñón	1	4.4	2.2			Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
Procelariiformes (Diomedidae)									
<i>Phoebastria irrorata</i>	pluma	24	<LD	<LD			Ecuador	2011-2012	Jimenez-Uzcátegui et al. (2017)

Especie	Tejido	N	Cd	Pb	Hg	As	País	Año de muestreo	Referencia
	pluma	50	0.2	4.31			Argentina	2005	Seco Pon et al. (2011)*
<i>Thalassarche melanophrys</i>	hígado	1	3.9	<LD	0.9		Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
	músculo	1	0.2	0.8			Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
	riñón	1	31	<LD			Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
Procelariforme (Hydrobatidae)									
<i>Oceanodroma tethys tethys</i>	pluma				6.68±3.76		Ecuador	2011-2022	Zarn et al. (2020)
Procelariforme (Procellariidae)									
<i>Procellaria aequinoctialis</i>	pluma	30	7.34 ± 1.70	33.05 ± 8.48	1.84 ± 2.48		Brasil	2006-2007	Carvalho et al. (2013)*
	sangre	30	2.93 ± 0.98	8.21 ± 3.53	3.20 ± 3.67		Brasil	2006-2007	Carvalho et al. (2013)*
<i>Procellaria conspicillata</i>	pluma	38	7.33 ± 1.57	32.26 ± 8.71	11.17 ± 3.78		Brasil	2006-2007	Carvalho et al. (2013)*
	sangre	38	3.31 ± 1.58	9.30 ± 4.33	3.41 ± 2.14		Brasil	2006-2007	Carvalho et al. (2013)*
<i>Puffinus gravis</i>	hígado	15	10.52 ± 4.8	0.28 ± 0.20			Brasil	2003	Barbieri et al. (2007)
	riñón	15	19.12 ± 11.68	0.21 ± 0.22			Brasil	2003	Barbieri et al. (2007)
<i>Puffinus griseus</i>	hígado	2	(2.2-4.2)	(0.7-3.5)	(0.2-0.4)		Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
	músculo	2	(0.2-0.2)	(0.9-1.1)			Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
	riñón	2	(23-24)	(<LD -2.4)			Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
<i>Puffinus puffinus</i>	hígado	20	22.33 ± 25.46	0.1 ± 0.06	7.19 ± 3.37		Brasil	2005-2011	Cardoso et al. (2014)*
	músculo	37	1.11 ± 1.72	0.16 ± 0.09	1.23 ± 0.53		Brasil	2005-2011	Cardoso et al. (2014)*
<i>Thalassarche chlororhynchos</i>	hígado	5	5.40 ± 5.33	0.015 ± 0.01	28.39 ± 30.4	12.33 ± 11.57	Brasil	2005-2011	Cardoso et al. (2014)*
<i>Thalassarche melanophris</i>	hígado	19	26.49 ± 32.85	0.024 ± 0.01	17.40 ± 27.7	26.59 ± 17.66	Brasil	2005-2011	Cardoso et al. (2014)*
Sphenisciformes (Spheniscidae)									
<i>Eudyptes chrysocome</i>	pluma	10			5.44 ± 0.67		Argentina	2008-2012	Brasso et al. (2013)
	pluma	29			1.21±0.27	5±0.2	Peru	2009	Adkesson et al. (2019)
<i>Spheniscus humboldti</i>		27			0.15±0.07		Peru	2009	Adkesson et al. (2019)
	sangre	30	(0.01-0.03)	(0.01-0.04)	0.11 - 0.03	0.04±0.01	Peru	2011	Adkesson et al. (2023)
	heces	20	42.47±45.55	12.79±9.97	0.61±0.40	7.86±4.88	Chile	2011-2012	Celis et al. (2014)*
		13	(2.83-33.5)	<LD	(0.47-2.19)		Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
		22	7.25 ± 4.71	0.58 ± 0.32	5.70 ± 3.73		Brasil		Kehrig et al. (2015)*
<i>Spheniscus magellanicus</i>	hígado	121			1.82 ± 1.61		Brasil	2006-2012	Moura et al. (2018b)
		35	24.4 ± 23.6	<LD	5.7 ± 4.1		Brasil	2006-2007	Vega et al. (2010)*
		16	0.14-3.31	0.36-1.63	0.36-0.56		Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
	músculo	121			0.47 ± 0.28		Brasil	2006-2012	Moura et al. (2018b)
		35	<LD	<LD	<LD		Brasil	2006-2007	Vega et al. (2010)*
		13	18.5-93.6	0.45-2	0.29-0.43		Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
	riñón	22	46.50 ± 33.55	0.55 ± 0.30	2.47 ± 1.42		Brasil		Kehrig et al. (2015)*

Especie	Tejido	N	Cd	Pb	Hg	As	País	Año de muestreo	Referencia
<i>Spheniscus magellanicus</i>	pluma				1.67 ± 0.22		Argentina	2008-2012	Brasso et al. (2013)
		79			0.109 ± 0.1		Argentina	2007	Frias et al. (2012)
		26			0.68 ± 0.40		Argentina	2017	Quadri-Adrogué et al. (2022)
			263	0.86		234	Chile	2011	Celis et al. (2023)*
			0.13 ± 0.07	0.14 ± 0.08	0.78 ± 0.44		Brasil		Kehrig et al. (2015)*
<i>Spheniscus mendiculus</i>	pluma	28	<LD	193 ± 48.3			Ecuador	2011-2012	Jimenez-Uzcátegui et al. (2017)
Suliformes (Fregatidae)									
<i>Fregata magnificens</i>	hígado	9	0.57 ± 0.57			1.29 ± 0.38	Brasil	2000-2004	Moura et al. (2018a)
	músculo	7	0.23 ± 0.30			2.19 ± 0.34	Brasil	2000-2004	Moura et al. (2018a)
	pluma	7	0.36 ± 0.23		10.19 ± 4.99	0.51 ± 0.27	Colombia	2010-2011	Burgos-Núñez et al. (2017)
					6.07 ± 3.17		Ecuador	2011-2017	Zarn et al. (2020)
	sangre	20	<LD	0.02 ± 0.01	5.81 ± 1.27	2.35 ± 1.44	Guayana Francesa	2013	Sebastiano et al. (2016, 2017)
<i>Fregata minor</i>	pluma				7.32±2.9		Ecuador	2011-2017	Zarn et al. (2020)
Suliformes (Phalacrocoracidae)									
<i>Nannopterum brasilianus</i>	hígado	73	0.14 ± 0.17	0.05 ± 0.26	4.28 ± 3.92	0.81 ± 1.05	Brasil	2015-2022	dos Santos Lima et al. (2023)*
<i>Phalacrocorax atriceps</i>	hígado	1	1.6		1		Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
	músculo	0.1	0.9				Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
	riñón	2.4					Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
<i>Phalacrocorax bougainvillii</i>	sangre	92			1.0 ± 0.3		Peru	2009-2013	Le Croizier et al. (2022)
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	pluma	10	< LD	0.69 ± 0.06	4.99 ± 1.47		Colombia	2010-2011	Burgos-Núñez et al. (2017)
<i>Phalacrocorax gaimardi</i>	hígado	1	1.7		0.9		Argentina	1994-1995	Gil et al. (2006)
	músculo	1	0.1	1.3			Argentina	1994-1996	Gil et al. (2006)
<i>Phalacrocorax harrisi</i>	pluma	30	<LD	42.60 ± 8.52			Ecuador	2011-2012	Jimenez-Uzcátegui et al. (2017)
Suliformes (Sulidae)									
<i>Sula granti</i>	pluma				14.51±3.7		Ecuador	2011-2017	Zarn et al. (2020)
	hígado	20	1.24 ± 0.99			2.20 ± 0.44	Brasil	1984-1985	Moura et al. (2018a)
		39	6.33±2.66	41.15±12.31			Brasil	2007-2009	Ferreira (2013)
		19	0.26 ± 0.37			2.03 ± 0.40	Brasil	1984-1985	Moura et al. (2018a)
	riñón	39	6.57±2.63	39.63±12.6			Brasil	2007-2009	Ferreira (2013)
	sangre	96	0.20 ± 0.25	0.24 ± 0.35	0.22 ± 0.40	2.35 ± 5.30	Brasil	2019-2022	de Barros Bauer et al. (2024)*
<i>Sula leucogaster</i>	pluma	99	1.06 ± 1.57	1.03 ± 2.04	0.94 ± 1.31	5.95 ± 16.77	Brasil	2019-2022	de Barros Bauer et al. (2024)*
		51	0.05 ± 0.06			0.35 ± 0.18	Brasil	2013-2014	Dolci et al. (2017)*
		10			0.12 ± 0.01		Brasil	2018	Bighetti et al. (2021)
	huevo	47	0.03 ± 0.03			2.37 ± 1.01	Brasil	2013-2014	Dolci et al. (2017)*
<i>Sula nebouxii excisa</i>	plumas				6.56±3.7		Ecuador	2011-2019	Zarn et al. (2020)
<i>Sula sula</i>	plumas				9.8±1.25		Ecuador	2011-2020	Zarn et al. (2020)
<i>Sula variegata</i>	sangre	90			0.6 ± 0.1		Peru	2009-2013	Le Croizier et al. (2022)

contra incendios, entre tantos otros (Gaines 2023).

Estos compuestos son ubicuos y pueden transportarse hasta zonas remotas (Yamazaki et al. 2021). Se ha descrito que pueden provocar alteraciones en el metabolismo y en los sistemas endocrino e inmunológico (Eckbo et al. 2019, Ask et al. 2021, Sebastiano et al. 2021, 2023). Si bien el sulfonato de perfluorooctano (PFOS) y el ácido perfluorooctanoico (PFOA) se incluyeron en el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes en 2009 y 2019, respectivamente (UNEP 2019), se los considera emergentes ya que nuevos PFAS son producidos y liberados continuamente al medio ambiente (Gordon 2011, Pan et al. 2018). En relación a las aves marinas, se han encontrado PFAS en huevos (Jang et al. 2022, Wells et al. 2024), plumas (Padilha et al. 2022, 2024), plasma (Ask et al. 2021, Wells et al. 2024) e hígado (Meyer et al. 2009, Sühning et al. 2022).

A pesar del gran uso de estos compuestos, en Sudamérica se han reportado niveles de PFAS en sólo dos especies de aves marinas (Tabla 3). Olivero-Verbel et al. (2006) estudiaron la distribución tisular de PFAS en el pelícano *Pelecanus occidentalis* en la Bahía de Cartagena en Colombia. Los autores encontraron PFOS en todos los tejidos examinados, incluyendo la bilis, siendo el bazo y el hígado los tejidos con mayores concentraciones. Además, se encontraron concentraciones detectables de perfluorooctanosulfonamida (PFOSA) en los tejidos excepto en el hígado, de perfluorohexanosulfonato (PFHxS), sólo en hígado y los pulmones, y de PFOA sólo en una muestra de bazo. Sin embargo, ninguna de las concentraciones encontradas en *P. occidentalis* superó la concentración prevista sin efecto de 350 ng/g (Newsted et al. 2005).

En el pingüino *Spheniscus humboldti* del área Ma-

rina Protegida Punta San Juan (Perú) se analizaron muestras de plasma por la técnica de manchas de sangre seca. En las mismas se reportaron niveles detectables de PFOA y PFOS en un rango de 0.32 a 1.49 ng/mL, valores que se encontraron dentro de lo reportado para otras especies de aves y por debajo de la concentración prevista sin efecto de 1000 ng/mL establecida para el suero (Newsted et al. 2005, Sun et al. 2023).

Sebastiano et al. (2022) menciona la importancia del estudio de estos CE's dado el amplio uso de las PFAS en la región. En particular, dado que los países latinoamericanos resultan ser el destino principal de las exportaciones de insecticidas en base a sulfluramida, y que en países como Brasil, Argentina y Uruguay se registra su uso intensivo tanto agrícola como domiciliario (Gilljam et al. 2016, Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo de Argentina 2018), es importante seguir trabajando sobre la detección de estos CE's para evaluar su concentración en el tiempo y determinar si son una amenaza para los ecosistemas marinos sudamericanos.

Plásticos. Los desechos marinos (también llamados basura marina) son cualquier material sólido persistente de origen antropogénico eliminados en el medio marino (Kumar et al. 2016). Los plásticos se definen como polímeros sintéticos con propiedades termoplásticas o termoestables (sintetizados a partir de materias primas de hidrocarburos o biomasa), elastómeros (por ejemplo, caucho butílico), fibras de materiales, líneas de monofilamento y revestimientos (GESAMP 2019), constituyendo el 80% de los desechos encontrados en el mar (UNEP 2016). Esto es el resultado de las actividades humanas tanto en tierra como marítimas, y se puede encontrar plásticos en las costas, suspendidos en la columna de agua, en los se-

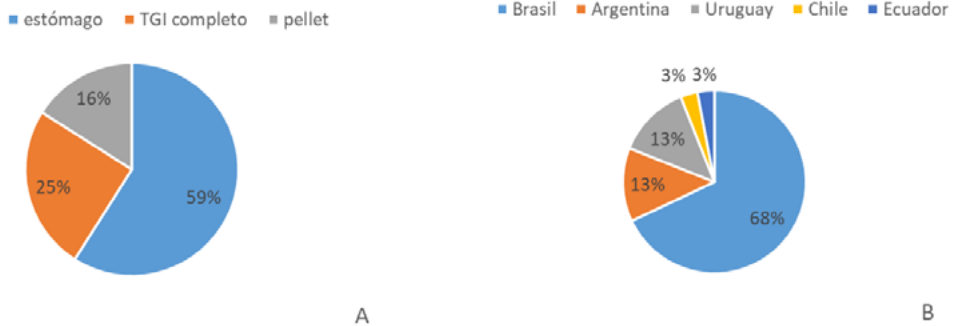


Figura 3. Reportes de desechos marinos en aves marinas de Sudamérica. A) porcentaje de muestras analizadas de acuerdo al tejido/órganos. B) porcentaje de publicaciones llevadas a cabo por país. TGI: tracto gastrointestinal.

Tabla 3. Contaminantes emergentes en aves marinas de Sudamérica. PUAs: plaguicidas de uso actual. PFAS: sustancias per y polifluoroalquiladas. PFOS: perfluorooctanosulfonato. PFOA: ácido perfluorooctanoico. GC-EDC: cromatografía gaseosa con detector de captura de electrones. HPLC/MS/MS: Cromatografía líquida de alta performance con detector de masas. LC/MS: Cromatografía líquida con detector de masas. a mediana.

Compuesto	Especie	País	Año de muestreo	N	Tejido	Concentración (media ± SD)	Rango	Unidad	Método de análisis	Referencia
PUAs										
Clorpirifós	<i>Daption capense</i>	Argentina	2011	19	pluma	84.66 ± 47.97		ng/g	GC-EDC	Quadri Adrogué et al. (2019)
Clorpirifós	<i>Thalasarche melanophris</i>	Argentina	2011	23	pluma	57.69 ± 23.82		ng/g	GC-EDC	Quadri Adrogué et al. (2019)
Clorpirifós	<i>Larus atlanticus</i>	Argentina	2013, 2014 y 2016	41	pluma		< LD - 4551	ng/g	GC-EDC	Quadri Adrogué et al. (2021)
PFAS										
PFOS	<i>Pelecanus occidentalis</i>	Colombia	2004	5	bazo	59.8	6.2-131.5	ng/g p.h.	HPLC/MS/MS	Olivero-Verbel et al. (2006)
					cerebro	3.5	1.3-11.4			
					corazón	2.1	1.7-6.9			
					hígado	36.65	4.02-55.73			
					músculo	0.8	0.7-2.7			
PFOA	<i>Spheniscus humboldti</i>	Peru	2011	30	sangre	0.732 ± 0.261	0.36 - 1.49	ng/ml	LC/MS	Adkesson et al. (2023)
PFOS	<i>Spheniscus humboldti</i>	Peru	2011	30	sangre	0.5 a	0.32 - 0.96	ng/ml	LC/MS	Adkesson et al. (2023)

dimentos y en la biota, asociado a enredos o ingestión (Haarr et al. 2022). Los desechos plásticos se pueden clasificar en diferentes categorías según su tamaño: megaplásticos (> 1 m), macropásticos (2.5-100 cm), mesoplásticos (5-25 mm), micropásticos (0.001-5 mm) y nanopásticos (< 1 µm) (GESAMP 2019).

Estos desechos han sido el foco de estudio en aves marinas de Sudamérica asociado principalmente a estudios de dieta (Tabla 4). Brasil es el país con mayor cantidad de publicaciones sobre contenido de desechos marinos, seguidos por Argentina y Uruguay (Fig. 3B). En la mayoría de los trabajos se evaluaron plásticos en el tracto gastrointestinal (75%), aunque también hay reportes de análisis en pellets (Fig. 3A). En general, cuando se analizaron desechos antropogénicos, los plásticos fueron los desechos más comúnmente encontrados, reflejando una elevada incidencia de este tipo de basura en el mar. Dentro de los plásticos, la mayoría de los reportes se focalizan en macro y mesoplásticos.

Los micropásticos (MPs) pueden clasificarse en primarios y secundarios. Los primeros corresponden a aquellos que se fabrican intencionalmente para ser usados como granulados, polvos y abrasivos en productos domésticos e industriales. Los MPs secundarios provienen de la degradación de materiales más grandes (GESAMP 2015). La presencia de MPs en los organismos tiene gran relevancia ambiental, debido a que por su pequeño tamaño y estabilidad presentan una gran biodisponibilidad (Cole et al. 2013). Sin embargo, son escasos las evaluaciones de MPs en aves marinas de Sudamérica. Además, la caracterización de las partículas plásticas encontradas en aves en muchos casos es superficial (Recabarren-Villalon et al. 2023) y no indican parámetros importantes para su caracterización como tamaño, forma, color y composición química (GESAMP 2019).

Independientemente de la especie, existen algunas tendencias en relación a MPs y aves marinas de la región. Para ello se tuvieron en cuenta los trabajos de Carrillo et al. (2023), Muñoz et al. (2023), Recabarren-Villalon et al. (2023) y Vanstreels et al. (2021), los cuales analizan partículas en el rango de los MPs y las han caracterizado según los ítems propuestos para una mejor evaluación en aves marinas (tamaño, forma, color y tipo de polímero) (Provencher et al. 2017, 2019b, 2020). El tamaño de las partículas fue en promedio de 26 ± 28 mm (rango: 0.72-108 mm) para las aves reportadas por Vanstreels et al. (2021) donde los nano y micropásticos fueron los más abundantes (65% del total). En las aves procelariformes evaluadas por Muñoz et al.

(2023) el valor medio de tamaño fue 18 ± 14 mm, con un rango de 2.3 a 90.4 mm, donde los mesoplásticos fueron los que presentaron mayor frecuencia (55%). En *S. hirundo* el tamaño promedio fue 1.07 ± 0.86 mm (Carrillo et al. 2023) y para *S. magellanicus* el 91% de las partículas correspondía al rango de los micropásticos con tamaños dentro del rango de 1-3 mm las más abundantes (Recabarren-Villalon et al. 2023).

En cuanto a la forma, las fibras y los films fueron las más abundantes, entre un 28 y 97% del total de partículas. Esto coincide con la predominancia de las fibras reportadas en el ambiente marino (Arias et al. 2022, Díaz-Jaramillo et al. 2021, Hamilton et al. 2021). Los colores negro y transparente (o blanco/color claro) fueron los más comúnmente encontrados en aves marinas (alrededor del 35%). Para identificar el tipo de polímero se utilizó la espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), indicando la presencia y predominancia de ésteres de celulosa (CP), tereftalato de polietileno (PET), poliacrilonitrilo (PAN) y polipropileno (PP) en *S. hirundo* (Carrillo et al. 2023) y PP, poliéster, PET y poliestireno (PS) en *S. magellanicus* (Recabarren-Villalon et al. 2023).

Las partículas plásticas pueden contener una amplia variedad de productos químicos, incluyendo aquellos que se originaron durante la fabricación como sustancias químicas que se absorben del medio ambiente (GESAMP 2019). Entonces además de los efectos negativos que pueden provocar los plásticos en los organismos, se suman aquellos producidos por los contaminantes en su superficie. Un único reporte evaluó COPs en plásticos encontrados en el tracto gastrointestinal de procelariformes de Brasil (Colabuono et al. 2010). En dicho trabajo, se detectaron PCBs en partículas plásticas (pellets y fragmentos) en un rango de 243 a 491 ng/g. Entre los POCs, el p,p'-DDE presentó las concentraciones más elevadas con valores entre 68 y 99 ng/g. La presencia de HCB, clordanos, ciclodienos y mirex también fue reportada.

A pesar de la gran preocupación por los posibles efectos de los MP en el medio ambiente, falta conocimiento sobre su distribución, sus efectos biológicos y sus impactos a nivel de ecosistema, especialmente en los grandes vertebrados marinos (Duncan et al. 2019). Si bien existen algunos intentos sobre la validación y estandarización en la evaluación de plásticos en la región como por ejemplo Procelariformes (Gallo et al. 2021), futuros esfuerzos deben ir hacia la aplicación de protocolos estandarizados a fin de hacer comparables los estudios sobre plásticos en aves marinas en general, con énfasis en las partículas más pequeñas (micro y nanopásticos).

Tabla 4. Desechos marinos en aves marinas de Sudamérica. FO: frecuencia de observación. TGI: tracto gastrointestinal.

	Matriz	País	Año de muestreo	FO (%)	Referencias
Charadriiforme (Laridae)					
Larus dominicanus	TGI	Brasil	2017-2022	9.7-50	Baes et al. (2024), Vanstreels et al. (2021)
		Argentina	2012-2017	3.6	Yorio et al. (2020)
	Pellet	Uruguay	2001-2013	17.7-25	Burgues et al. (2020), Lenzi et al. (2016)
		Argentina	2012-2017	10.4	Yorio et al. (2020)
		Chile	2003	9.7-48.8	Ludynia et al. (2005)
Charadriiforme (Rynchopidae)					
Rynchops niger	TGI	Brasil	2017-2022	6.7	Baes et al. (2024)
Charadriiforme (Stercorariidae)					
Stercorarius maccormicki	TGI	Brasil	2017-2022	100	Baes et al. (2024)
Charadriiforme (Sternidae)					
Sterna hirundinacea	TGI	Brasil	2010-2022	3.1	Baes et al. (2024)
Sterna hirundo	TGI	Brasil	2017-2022	4.5-22	Baes et al. (2024), Tavares et al. (2017), Vanstreels et al. (2021)
		Argentina	2019-2020	100	Carrillo et al. (2023)
	Pellet	Brasil	1999-2000	0.6	Bugoni & Vooren (2004)
Thalasseus acuflavidus	TGI	Brasil	2017-2022	1.27-15	Baes et al. (2024), Vanstreels et al. (2021)
Procelariiforme (Diomedeidae)					
Diomedea dabbenena	TGI	Uruguay	2005-2012	33.3	Jimenez et al. (2015)
Diomedea epomorpha	TGI	Uruguay	2005-2012	17.4	Jimenez et al. (2015)
Diomedea sanfordi	TGI	Uruguay	2005-2012	38.9	Jimenez et al. (2015)
Phoebastria irrorata	TGI	Ecuador	2007	7	Anderson et al. (2008)
Thalassarche chlororhynchos	TGI	Brasil	1991-2022	5.8-60	Baes et al. (2024), Barbieri (2009), Colabuono & Vooren (2007), Colabuono et al. (2009, 2010), Tavares et al. (2017), Vanstreels et al. (2021)
Thalassarche melanophrys	TGI	Brasil	1991-2022	2-73.1	Baes et al. (2024), Barbieri (2009), Colabuono & Vooren (2007), Colabuono et al. (2009, 2010), do Nascimento et al. (2022), Petry et al. (2007), Tavares et al. (2017), Torinho et al. (2010)
		Uruguay	2005-2012	3.1-4.35	Jimenez et al. (2015), Muñoz et al. (2023)
Procelariiforme (Oceanitidae)					
Oceanites oceanicus	TGI	Brasil	2017-2022	25	Baes et al. (2024)
Procelariiforme (Procellariidae)					
Ardenna gravis	TGI	Brasil	2010-2022	56.3-68.1	Baes et al. (2024), Tavares et al. (2017)
		Uruguay	n.i.	100	Muñoz et al. (2023)
Ardenna grisea	TGI	Brasil	2017-2022	42.1	Baes et al. (2024)
Calonectris borealis	TGI	Brasil	1994-2022	20-80	Baes et al. (2024), Di Benedetto & Siciliano (2021), do Nascimento et al. (2022), Perez (2016), Tavares et al. (2017), Vanstreels et al. (2021)
Calonectris diomedea	TGI	Brasil	1994-2005	81-100	Colabuono et al. (2009), Petry et al. (2009)
Calonectris edwardsii	TGI	Brasil	2017-2022	100	Baes et al. (2024)
Daption capense	TGI	Brasil	200-2022	66.7-100	Baes et al. (2024), Barbieri (2009), Tavares et al. (2017)

	Matriz	País	Año de muestreo	FO (%)	Referencias
<i>Fulmarus glacialoides</i>	TGI	Brasil	1994-2022	33.3-79	Baes et al. (2024), Barbieri (2009), Colabuono et al. (2009)
<i>Halobaena caerulea</i>	TGI	Brasil	2017-2022	50	Baes et al. (2024)
<i>Macronectes giganteus</i>	TGI	Brasil	1994-2022	25-64.3	Baes et al. (2024), Barbieri (2009), do Nascimento et al. (2022), Tourinho et al. (2010)
<i>Macronectes halli</i>	TGI	Brasil	2011-2022	50-100	Baes et al. (2024), Leal et al. (2015)
		Uruguay	n.i.	100	Muñoz et al. (2023)
<i>Pachyptila belcheri</i>	TGI	Brasil	2000-2022	33.3-100	Baes et al. (2024), Barbieri (2009)
<i>Pachyptila desolata</i>	TGI	Brasil	2017-2022	62.5	Baes et al. (2024)
<i>Pachyptila vittata</i>	TGI	Brasil	2017-2022	66.7	Baes et al. (2024)
<i>Procellaria aequinoctialis</i>	TGI	Brasil	1990-2022	21-100	Baes et al. (2024), Barbieri (2009), Colabuono & Vooren (2007), Colabuono et al. (2009, 2010), do Nascimento et al. (2022), Perez (2016), Petry & Benemann (2017), Tavares et al. (2017), Tourinho et al. (2010), Vanstreels et al. (2021)
		Uruguay	n.i.	47.6	Muñoz et al. (2023)
<i>Procellaria conspicillata</i>	TGI	Brasil	1991-2022	22-50	Baes et al. (2024), Colabuono & Vooren (2007), Colabuono et al. (2009, 2010)
	TGI	Uruguay	n.i.	75	Muñoz et al. (2023)
<i>Pterodroma incerta</i>	TGI	Brasil	2009-2019	37.7-100	do Nascimento et al. (2022), Perez (2016)
<i>Pterodroma mollis</i>	TGI	Brasil	2010-2022	48.6-50	Baes et al. (2024), Tavares et al. (2017)
<i>Puffinus gravis</i>	TGI	Brasil	1991-2015	72.4-100	Barbieri (2009), Colabuono et al. (2009, 2010), Di Benedetto & Siciliano (2021), Perez (2016), Petry et al. (2008), Tourinho et al. (2010)
<i>Puffinus griseus</i>	TGI	Brasil	1994-2007	59-100	Barbieri (2009), Petry et al. (2008), Tourinho et al. (2010)
<i>Puffinus puffinus</i>	TGI	Brasil	1991-2022	12.5-85.7	Baes et al. (2024), Barbieri (2009), Colabuono et al. (2009, 2010), do Nascimento et al. (2022), Petry et al. (2008), Tavares et al. (2017), Tourinho et al. (2010), Vanstreels et al. (2021)
Sphenisciformes (Spheniscidae)					
<i>Spheniscus magellanicus</i>	TGI	Brasil	1994-2022	14.6-89.1	Baes et al. (2024), Brandao et al. (2011), Di Benedetto et al. (2015), Di Benedetto & Siciliano (2017), Pinto et al. (2007), Marquez et al. (2018), Tourinho et al. (2010), Vanstreels et al. (2021)
		Argentina	2017-2021	15.5-100	Recabarren-Villalon et al. (2023), Seco Pon et al. (2023)
Suliformes (Fregatidae)					
<i>Fregata magnificens</i>	TGI	Brasil	2017-2022	8.2	Baes et al. (2024)
Suliformes (Phalacrocoracidae)					
<i>Nannopterum brasilianus</i>	TGI	Brasil	2017-2022	5.22	Baes et al. (2024)
Suliformes (Sulidae)					
<i>Sula dactylatra</i>	TGI	Brasil	2010-2013	50	Tavares et al. (2017)
<i>Sula leucogaster</i>	TGI	Brasil	2010-2022	7.9-23	Baes et al. (2024), Tavares et al. (2017), Vanstreels et al. (2021)

CONCLUSIÓN

En esta revisión se trató de proporcionar de manera sistemática y completa los datos sobre contaminantes en aves marinas de Sudamérica en los últimos 20 años. La disponibilidad de datos refleja tanto la capacidad de cada región para mantener programas de monitoreo, así como de los esfuerzos particulares de investigadores para la evaluación de los contaminantes, siendo Brasil el país que más aportó en la temática, no sólo por la cantidad de trabajos, sino por la diversidad de especies analizadas. Como era de esperar, los datos disponibles sobre contaminantes en aves marinas de América del Sur son relativamente escasos en comparación con otras regiones del mundo, por eso es necesario continuar con programas de apoyo a investigaciones tendientes a mejorar este tipo de conocimiento.

Si bien se han logrado grandes avances en el estudio de la presencia y dinámica de los contaminantes, son necesarios investigaciones continuas en el tiempo para evaluar el aumento o disminución de contaminantes persistentes y emergentes en estas matrices y regiones. Consideramos que es esencial la colaboración entre investigadores, para aumentar el conocimiento y de esa forma poder plasmar medidas concretas de conservación para las poblaciones de aves marinas en la región. Los resultados presentados en este trabajo proporcionan datos de referencia importantes para el seguimiento espacio-temporal de las aves marinas de Sudamérica.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Adkesson MJ, Levengood J, Scott J, Schaeffer D, Langan J, Cárdenas-Alayza S, de la Puente S, Majluf P, Yi S (2018) Assessment of polychlorinated biphenyls, organochlorine pesticides, and polybrominated diphenyl ethers in the blood of Humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*) from the Punta San Juan Marine Protected Area, Peru. *Journal of Wildlife Diseases* 54:304-314. <https://doi.org/10.7589/2016-12-270>
- Adkesson MJ, Levengood J, Scott J, Schaeffer D, Panno B, Langan J, Cárdenas-Alayza S, James-Yi S (2019) Analysis of toxic and essential elements in the blood and feathers of Humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*) at Punta San Juan, Peru. *Journal of Wildlife Diseases* 55:438-443. <https://doi.org/10.7589/2018-03-081>
- Adkesson MJ, Shlosberg A, Lehner AF, Rumbeih WK, Cárdenas-Alayza S, Kannan K (2023) Measurement of persistent organic pollutants, perfluorinated compounds, and toxic metals in the blood of Humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*) at Punta San Juan, Peru using dried blood spots. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 54(4):713-720. <https://doi.org/10.1638/2023-0047>
- Akinlua A, Smith R (2010) Subcritical water extraction of trace metals from petroleum source rock. *Talanta* 81 (4-5):1346-1349. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.02.029>
- de Albergaria-Barbosa ACR, da Silva DAM, da Silva Rocha AJ, Taniguchi S, Patire VF, Dias JF, Silva Fernandez W, Bicego MC (2018) Evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbons bioavailability on Santos Bay (Brazil) through levels of biliary metabolites. *Marine Pollution Bulletin* 129(2):822-828. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.006>
- Albers PH, Loughlin TR (2003) Effects of PAHs on marine birds, mammals and reptiles. Pp 243-261 en: Douben PET (ed) *PAHs: An Ecotoxicological Perspective*. John Wiley and Sons, New Jearsey, USA. <https://doi.org/10.1002/0470867132.ch13>
- Almeida M, do Nascimento D, de Oliveira P, Patire V, de Albergaria-Barbosa A (2018) Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of a Tropical Bay influenced by anthropogenic activities (Todos os Santos Bay, BA, Brazil). *Marine Pollution Bulletin* 137:399-407. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.040>
- Anderson DJ, Huyvaert KP, Awkerman JA, Proaño CB, Milstead WB, Jiménez-Uzcátegui G, Cruz S, Grace JK (2008) Population status of the Critically Endangered waved albatross *Phoebastria irrorata*, 1999 to 2007. *Endangered Species Research* 5:185-192. <https://doi.org/10.3354/ESR00089>
- Arias AH, Alfonso MB, Girones L, Marcovecchio JE, Piccolo MC (2022) Synthetic microfibers and tyre wear particles pollution in aquatic systems: relevance and mitigation strategies. *Environmental Pollution* 118607. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118607>
- Arias AH, Panebianco MV, Net S, Dumoulin D, Souissi S, Ouddane B, Cappozzo H, Marcovecchio JE (2016) Franciscana dolphins as PCBs marine biomonitors in Argentina, south-west Atlantic Ocean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 96:979-992. <https://doi.org/10.1017/S0025315415000776>
- Ask AV, Jenssen BM, Tartu S, Angelier F, Chastel O, Gabrielsen GW (2021) Per- and polyfluoroalkyl substances are positively associated with thyroid hormones in an Arctic seabird. *Environmental Toxicology and Chemistry* 40:820-831. <https://doi.org/10.1002/etc.4978>
- Baes L, Diniz Santiago C, Roman L, dos Santos Costa PC, Pugliesi E, Reigada C (2024) Beached seabirds as plastic biomonitors in Brazil from the Beach Monitoring Project of the Santos Basin (PMP-BS). *Marine Pollution Bulletin* 199:115847. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115847>
- Baldassin P, Taniguchi S, Gallo H, Maranhão A, Kolesni-

- kovas C, Amorim D, Mansilla M, Navarro R, Tabeira L, Bicego M, Montone R (2016) Persistent organic pollutants in juvenile Magellanic Penguins (*Spheniscus magellanicus*) in South America. *Chemosphere* 149:391-399. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.016>
- Barbieri E (2009) Occurrence of plastic particles in procellariiforms, south of São Paulo state (Brazil). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 52:341-348. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132009000200011>
- Barbieri E, Garcia C, de Andrade Passos E, Aragão K, Alves J (2007) Heavy metal concentration in tissues of *Puffinus gravis* sampled on the Brazilian coast. *Revista Brasileira de Ornithologia* 15(1):69-72
- Barbieri E, Passos E, Filippini A, dos Santos I, Garcia C (2010) Assessment of trace metal concentration in feathers of seabird (*Larus dominicanus*) sampled in the Florianópolis, SC, Brazilian coast. *Environmental Monitoring and Assessment* 169:631-638. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1202-4>
- Barra R, Colombo JC, Eguren G, Gamboa N, Jardim W, Mendoza G (2006) Persistent organic pollutants (POPs) in eastern and western South American countries. En: Ware, GW, Nigg HN, Doerge DR (eds) *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol 185. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/0-387-30638-2_1
- Barreto IS, de Albergaria-Barbosa ACR, Patire VF, Silva M, Baldassin P, Taniguchi S, Montone R, Gallo H, Maranhão A, Caruso Bicego M (2020) Bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons to penguins on the coast of southeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 157:111306. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111306>
- de Barros Bauer A, de Andrade Linhares B, Nunes G, Costa P, Zebral Y, Bianchini A, Bugoni L (2024) Temporal changes in metal and arsenic concentrations in blood and feathers of tropical seabirds after one of the largest environmental disasters associated with mining. *Environmental Research* 248:118240. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118240>
- Berger M, Shaw S, Rolsky C, Chen D, Sun J, Rosing-Asvid A, Granquist S, Simon M, Bäcklin M, Roos A (2023) Alternative and legacy flame retardants in marine mammals from three northern ocean regions. *Environmental Pollution* 335:122255. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122255>
- Bianchini K, Mallory ML, Braune BM, Muir DCG, Provencher JF (2022) Why do we monitor? Using seabird eggs to track trends in Arctic environmental contamination. *Environmental Reviews* 30(2):245-267. <https://doi.org/10.1139/er-2021-0078>
- Bighetti G, Padilha J, Cunha L, Kasper D, Malm O, Mancini P (2021) Bioaccumulation of mercury is equal between sexes but different by age in seabird (*Sula leucogaster*) population from southeast coast of Brazil. *Environmental Pollution* 285:117222. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117222>
- Bighetti G, Padilha J, Cunha L, Malm O, Mancini P (2022) Ventral feathers contained the highest mercury level in brown booby (*Sula leucogaster*), a pantropical seabird species. *Chemosphere* 298:134305. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134305>
- Bombardi LM (2017) Geografia do Uso de Agrotóxicos no Brasil e Conexões com a União Europeia Larissa Mies Bombardi.-São Paulo: FFLCH-USP, 296 p. ISBN:978-85-7506-310. <https://web.archive.org/web/20210904064155/>. URL: <https://conexaoaqua.mpf.mp.br/arquivos/agrotoxicos/05-larissa-bombardi-atlas-agrotoxico-2017.pdf>
- Borgå K, Hop H, Skaare J, Wolkers H, Gabrielsen G (2007) Selective bioaccumulation of chlorinated pesticides and metabolites in Arctic seabirds. *Environmental Pollution* 145(2):545-553. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.04.021>
- Brasso R, Drummond B, Borrett S, Chiaradia A, Polito M, Rey A (2013) Unique pattern of molt leads to low intraindividual variation in feather mercury concentrations in penguins. *Environmental Toxicology and Chemistry* 32(10):2331-2334. <https://doi.org/10.1002/etc.2303>
- Braune BM, Scheuhammer AM (2008) Trace element and metallothionein concentrations in seabirds from the Canadian Arctic. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 27(3):645-651. <https://doi.org/10.1897/07-269.1>
- Bugoni L, Vooren C (2004) Feeding ecology of the Common Tern *Sterna hirundo* in a wintering area in southern Brazil. *Ibis* 146(3):438-453. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2004.00277.x>
- Burger J, Gochfeld M (2004) Marine birds as sentinels of environmental pollution. *EcoHealth* 1:263-274. <https://doi.org/10.1007/s10393-004-0096-4>
- Burger J, Gochfeld M, Jeitner C, Burke S, Volz C, Snigaroff R, Snigaroff D, Shukla T, Shukla S (2009) Mercury and other metals in eggs and feathers of glaucous-winged gulls (*Larus glaucescens*) in the Aleutians. *Environmental Monitoring Assessment* 152(1-4):179-194. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0306-6>
- Burgos-Núñez S, Navarro-Frómata A, Marrugo-Neigrete J, Enamorado-Montes G, Urango-Cárdenas I (2017) Polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in the Cispata Bay, Colombia: A marine tropical ecosystem. *Marine Pollution Bulletin* 120 (1-2):379-386. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.016>
- Burgues M, Lenzi J, Machín E, Genta L, de Mello F (2020) Temporal Variation of Kelp Gull's (*Larus dominicanus*) Diet on a Coastal Island of the Rio de la Plata Estuary, Uruguay: Refuse as an Alternative Food Source. *Waterbirds* 43(1):65-74. <https://doi.org/10.1675/063.043.0107>
- Cámara Argentina de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFA) (2012) Mercado Argentino de Productos Fitosanitarios. <http://www.casafe.org/publicaciones/estadisticas>

- Cardoso M, de Moura J, Tavares D, Gonçalves R, Colabuono F, Roges E, de Souza R, Dos Prazeres Rodrigues L, Montone R, Siciliano S (2014) The Manx shearwater (*Puffinus puffinus*) as a candidate sentinel of Atlantic Ocean health. *Aquatic Biosystems* 10:6. <https://doi.org/10.1186/2046-9063-10-6>
- Carravieri A, Bustamante P, Churlaud C, Fromant A, Cherel Y (2014) Moulting patterns drive within-individual variations of stable isotopes and mercury in seabird body feathers: implications for monitoring of the marine environment. *Marine Biology* 161:963-968. <https://doi.org/10.1007/s00227-014-2394-x>
- Carrillo M, Archuby D, Castresana G, Lunardelli M, Montalti D, Ibañez A (2023) Microplastic ingestion by common terns (*Sterna hirundo*) and their prey during the non-breeding season. *Environmental Pollution* 327:121627. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121627>
- Carvalho PC, Bugoni L, McGill RAR, Bianchini A (2013) Metal and selenium concentrations in blood and feathers of petrels of the genus *Procellaria*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 32:1641-1648. <https://doi.org/10.1002/etc.2204>
- Celis J, Espejo W, González-Acuña D, Jara S, Barra R (2014) Assessment of trace metals and porphyrins in excreta of Humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*) in different locations of the northern coast of Chile. *Environmental Monitoring and Assessment* 186:1815-1824. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3495-6>
- Celis J, Squadrone S, Berti G, Abete M, Sandoval M, Espejo W (2023) Burden of rare earth elements and trace elements in feathers of magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) from the southern Chilean Patagonia. *Marine Pollution Bulletin* 194:115364. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115364>
- Cezarette GN, Souza MCO, Rocha BA, González N, Nadal M, Domingo JL, Barbosa F (2024) Levels and health risk assessment of twenty-one current-use pesticides in urban and riverside waters of the Brazilian Amazon Basin. *Environmental Research* 252:119027. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119027>
- Chai L, Wong M, Hansen H (2013) Degradation of Chlorpyrifos in humid tropical soils. *Journal of Environmental Management* 125:28-32. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.04.005>
- Chastel O, Fort J, Ackerman JT, Albert C, Angelier F, Basu N, et al. (2022) Mercury contamination and potential health risks to Arctic seabirds and shorebirds. *Science of the Total Environment* 844:156944. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156944>
- Chen S, Feng A, He M, Chen M, Luo X, Mai B (2013) Current levels and composition profiles of PBDEs and alternative flame retardants in surface sediments from the Pearl River Delta, southern China: comparison with historical data. *Science of the Total Environment* 444:205-211. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.104>
- Climent MJ, Coscollá C, López A, Barra R, Urrutia R (2019) Legacy and current-use pesticides (CUPs) in the atmosphere of a rural area in central Chile, using passive air samplers. *Science of the Total Environment* 662:646-654. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.302>
- Colabuono FI, Barquete V, Domingues BS, Montone RC (2009) Plastic ingestion by Procellariiformes in southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 58(1):93-96. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.08.020>
- Colabuono F, Taniguchi S, Montone R (2010) Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in plastics ingested by seabirds. *Marine Pollution Bulletin* 60(4): 630-634. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.01.018>
- Colabuono F, Taniguchi S, Montone R (2012) Organochlorine contaminants in albatrosses and petrels during migration in South Atlantic Ocean. *Chemosphere* 86(7):701-708. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.10.043>
- Colabuono FI, Vooren CM (2007) Diet of black-browed *Thalassarche melanophrys* and Atlantic yellow-nosed *T. chlororhynchos* albatrosses and white-chinned *Procellaria aequinoctialis* and spectacled *P. conspicillata* petrels off southern Brazil. *Marine Ornithology* 35:9-20
- Cole M, Lindeque P, Fileman E, Halsband C, Goodhead R, Moger J, Galloway T (2013) Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science and Technology* 47(12):6646-6655. <https://doi.org/10.1021/es400663f>
- Commendatore MG, Franco MA, Gomes Costa P, Castro IB, Fillmann G, Bigatti G, Esteves JL, Nievas ML (2015) Butyltins, polyaromatic hydrocarbons, organochlorine pesticides, and polychlorinated biphenyls in sediments and bivalve mollusks in a mid-latitude environment from the Patagonian coastal zone: organic pollutants in sediments and bivalves from Patagonia. *Environmental Toxicology and Chemistry* 34:2750-2763. <https://doi.org/10.1002/etc.3134>
- Commendatore M, Yorío P, Scenna L, Ondarza P, Suárez N, Marinao C, Miglioranza K (2018) Persistent organic pollutants in sediments, intertidal crabs, and the threatened Olrog's gull in a northern Patagonia salt marsh, Argentina. *Marine Pollution Bulletin* 136:533-546. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.09.010>
- Cortés M, Luna-Jorquera G (2011) Efecto de la edad y la localidad en la concentración de cadmio y cobre en el hígado de la gaviota dominicana *Larus dominicanus*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 46(2):287-292. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572011000200020>
- Di Benedetto APM, Dos Santos R, Rosa K, Siciliano S (2015) Magellanic penguins: stomach contents and isotopic profiles to assess the feeding demands of juveniles in a wintering area off Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of*

- the United Kingdom* 95(2):423-430. <https://doi.org/10.1017/S0025315414001532>
- Di Benedetto APM, Siciliano S (2017) Marine debris boost in juvenile Magellanic penguins stranded in south-eastern Brazil in less than a decade: insights into feeding habits and habitat use. *Marine Pollution Bulletin* 125(1-2):330-333. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.044>
- Di Benedetto APM, Siciliano S (2021) Itens alimentares, parasitas e plásticos: Notas sobre o conteúdo estomacal de aves marinhas no Rio de Janeiro Food items, parasites and plastics: Notes on the stomach content of seabirds in Rio de Janeiro. *Brazilian Journal of Development* 7(7):73015-73024. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n7-465>
- Dias P, Cipro C, Taniguchi S, Montone R (2013) Persistent organic pollutants in marine biota of São Pedro and São Paulo Archipelago, Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 74(1):435-440. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.06.025>
- Dias P, Cipro C, Colabuono F, Taniguchi S, Montone R (2018) Persistent organic pollutants and stable isotopes in seabirds of the Rocas Atoll, Equatorial Atlantic, Brazil. *Marine Ornithology* 46: 139-148
- Díaz-Jaramillo M, Islas MS, Gonzalez M (2021) Spatial distribution patterns and identification of microplastics on intertidal sediments from urban and semi-natural SW. *Atlantic estuaries Environmental Pollution* 273:116398. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116398>
- Distefano GG, Zangrando R, Basso M, Panzarin L, Gambaro A, Volpi Ghirardini A, Picone M (2022) The ubiquity of neonicotinoid contamination: Residues in seabirds with different trophic habits. *Environmental Research* 206:112637. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112637>
- Dolci N, Sá F, da Costa Machado E, Krul R, Rodrigues Neto R (2017) Trace elements in feathers and eggshells of brown booby *Sula leucogaster* in the Marine National Park of Currais Islands, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 189:1-14. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6190-1>
- Duffus J (2002) "Heavy metals"—meaningless term? *Pure Applied Chemistry* 74 (5):793–807. <https://doi.org/10.1351/pac200274050793>
- Duncan E, Broderick A, Fuller W, Galloway T, Godfrey M, Hamann M, Limpus C, Lindeque P, Mayes A, Omeyer L, Santillo D, Snape R, Godley B (2019) Microplastic ingestion ubiquitous in marine turtles. *Global Change Biology* 25(2):744–752. <https://doi.org/10.1111/gcb.14519>
- Ebert L, Branco J, Barbieri E (2020) Evaluation of trace elements in feathers of young kelp gull *Larus dominicanus* along the coast of Santa Catarina, Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 160:111676. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111676>
- Eckbo N, Le Bohec C, Planas-Bielsa V, Warner NA, Schull Q, Herzke D, Zahn SA, Haarr GW, Borgå GK (2019) Individual variability in contaminants and physiological status in a resident Arctic seabird species. *Environmental Pollution* 249:191-199. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.025>
- Eeva T, Raivikko N, Espín S, Sánchez-Virosta P, Ruuskanen S, Sorvari J, Rainio M (2020) Bird feces as indicators of metal pollution: pitfalls and solutions. *Toxics* 8(4):124. <https://doi.org/10.3390/toxics8040124>
- Engwa AG, Udoka F, Nweke N, Unachukwu M (2019) Mechanism and health effects of heavy metal toxicity in humans. poisoning in the modern world—new tricks for an old dog?. *IntechOpen* 10:70-90. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82511>
- Espín S, García-Fernández AJ, Herzke D, Shore RF, van Hattum B, Martínez-López E, Coeurdassier M, Eulaers I, Fritsch C, Gómez-Ramírez P, Jaspers VLB, Krone O, Duke G, Helander B, Mateo R, Movalli P, Sonne C, van den Brink NW (2016) Tracking pan-continental trends in environmental contamination using sentinel raptors—what types of samples should we use? *Ecotoxicology* 25:777–801. <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1636-8>
- European Commission Pesticides (ECP) (2024) Disponible en: https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/eu-pesticides-database_en
- Evers DC, Savoy LJ, DeSorbo CR, et al. (2008) Adverse effects from environmental mercury loads on breeding common loons. *Ecotoxicology* 17:69–81. <http://doi.org/10.1007/s10646-007-0168-7>
- FAO y OMS (2023). Comisión del Codex Alimentarius Manual de Procedimiento. Vigésima octava edición. Roma. <https://doi.org/10.4060/cc5042es>
- Ferreira AP (2013) Trace metals analysis in brown booby (*Sula leucogaster*) collected from Ilha Grande bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Uniandrade* 11(2):41-54
- Frias J, Gil M, Esteves J, Borboroglu P, Kane O, Smith J, Boersma P (2012) Mercury levels in feathers of Magellanic penguins. *Marine Pollution Bulletin* 64(6):1265-1269. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.02.024>
- Gaines LG (2023) Historical and current usage of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS): A literature review. *American Journal of Industrial Medicine* 66(5):353-378. <https://doi.org/10.1002/ajim.23362>
- Gallo L, Uhart MM, Pereira A, Pereira Serafini P (2021) Métodos para Avaliação da Exposição a Poluentes Plásticos em Procellariiformes: Revisão e Padronização de Protocolos. *Biodiversidade Brasileira* 11(3):1-16. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v11i3.1829>
- GESAMP (2015) Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment (part 1). <http://www.gesamp.org/publications/reports-and-studies-no-90>
- GESAMP (2019) Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the

- ocean. En: Kershaw PJ, Turra A, Galgani F (Eds.), GESAMP Reports and Studies, No. 99. GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, London
- Gil M, Torres A, Harvey M, Esteves J (2006) Metales pesados en organismos marinos de la zona costera de la Patagonia argentina continental. *Revista de biología marina y oceanografía* 41(2):167-176. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572006000200004>
- Gilljam J, Leonel J, Cousins I, Benskin J (2016) Is ongoing sulfluramid use in South America a significant source of perfluorooctanesulfonate (PFOS)? Production inventories, environmental fate, and local occurrence. *Environmental Science & Technology* 50(2):653-659. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04544>
- Gimeno M, Rossell L, Julià L, Giménez J, Sanpera C, Coll M, Bustamante P, Ramírez F (2024) Assessing mercury contamination in Southern Hemisphere marine ecosystems: The role of penguins as effective bioindicators. *Environmental Pollution* 343:123159. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123159>
- Girones L, Oliva AL, Marcovecchio JE, Arias AH (2020) Spatial distribution and ecological risk assessment of residual organochlorine pesticides (OCPs) in South American marine environments. *Current Environmental Health Reports* 7:147-160. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00272-7>
- González FB, Casadinho CJS, Weber JM, Zugasti CG, Prado EE, Ruiz BB, Acosta M, Cárcamo MI, Muñoz FR (2008) *El endosulfán y sus alternativas en América Latina* RAP-AL, IPEN González FB (ed.). 1º edición, México
- González Carman V, Denuncio P, Vassallo M, Berón MP, Álvarez KC, Rodríguez-Heredia S (2021) Charismatic Species as Indicators of Plastic Pollution in the Río de la Plata Estuarine Area, SW Atlantic. *Frontiers in Marine Science* 8:699100. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.699100>
- González-Rubio S, Ballesteros-Gómez A, Asimakopoulou AG, Jaspers VL (2021) A review on contaminants of emerging concern in European raptors (2002– 2020). *Science of The Total Environment* 760:143337. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143337>
- Gordon S (2011) Toxicological evaluation of ammonium 4, 8-dioxo-3H-perfluorononanoate, a new emulsifier to replace ammonium perfluorooctanoate in fluoropolymer manufacturing. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 59(1):64-80. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2010.09.008>
- Gouin T, Wania F, Ruepert C, Castillo EL (2008) Field testing passive air samplers for current use pesticides in a tropical environment. *Environmental Science & Technology* 42(17):6625-6630. <https://doi.org/10.1021/es8008425>
- Gouveia D, Almunia C, Cogne Y, Pible O, Degli-Esposti D, Salvador A, et al. (2019) Ecotoxicoproteomics: A decade of progress in our understanding of anthropogenic impact on the environment. *Journal of Proteomics* 198:66-77. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2018.12.001>
- Griffero L, Alcantara-Duran J, Alonso C, Rodríguez-Gallego L, Moreno-Gonzalez D, García-Reyes JF, Molina-Díaz A, Perez-Parada A (2019) Basin-scale monitoring and risk assessment of emerging contaminants in South American Atlantic coastal lagoons. *Science of The Total Environment* 697:134058. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134058>
- Gurney K, Williams T, Smit J, Wayland M, Trudeau S, Bendell-Young L (2005) Impact of oil-sands based wetlands on the growth of mallard (*Anas platyrhynchos*) ducklings. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24(2):457-463. <https://doi.org/10.1897/03-575.1>
- Haarr ML, Falk-Andersson J, Fabres J (2022) Global marine litter research 2015–2020: Geographical and methodological trends. *Science of The Total Environment* 820:153162. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153162>
- Hamilton BM, Bourdages MPT, Geoffroy C, Vermaire JC, Mallory ML, Rochman CM, Provencher JF (2021) Microplastics around an Arctic seabird colony: particle community composition varies across environmental matrices. *Science of The Total Environment* 15 773:145536. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145536>
- Harrison P, Perrow M, Larsson H (2021) *Seabirds: The New Identification Guide*. Barcelona: Lynx Editions, 608 pp
- Herring G, Ackerman JT, Herzog MP (2012) Mercury exposure may suppress baseline corticosterone levels in juvenile birds. *Environmental Science and Technology* 46:6339–6346. <https://doi.org/10.1021/es300668c>
- Hoffman DJ, Henny CJ, Hill EF, Grove RA, Kaiser JL, Stebbins KR (2009) Mercury and drought along the lower Carson River, Nevada: III. Effects on blood and organ biochemistry and histopathology of snowy egrets and black-crowned night-herons on Lahontan reservoir, 2002–2006. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A* 72:1223–1241. <https://doi.org/10.1080/15287390903129218>
- Honda M, Suzuki N (2020) Toxicities of polycyclic aromatic hydrocarbons for aquatic animals. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(4):1363. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041363>
- Ibañez AE, Mills WF, Bustamante P, Morales LM, Torres DS, d'Astak B, Mariano-Jelicich R, Phillips R, Montalti D (2024) Deleterious effects of mercury contamination on immunocompetence, liver function and egg volume in an Antarctic seabird. *Chemosphere* 346:140630. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140630>
- Jang M, Shim W, Han G, Ha S, Cho Y, Kim M, Hong S (2022) Spatial distribution and temporal trends

- of classical and emerging persistent organic pollutants (POPs) in black-tailed gull (*Larus crassirostris*) eggs from Korea. *Science of the Total Environment* 845:157244. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157244>
- Jaspers VL, Covaci A, Herzke D, Eulaers I, Eens M (2019) Bird feathers as a biomonitor for environmental pollutants: prospects and pitfalls. *Trends in Analytical Chemistry* 118:223-226. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.019>
- Jiménez S, Domingo A, Brazeiro A, Defeo O, Phillips, RA (2015) Marine debris ingestion by albatrosses in the southwest Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 96(1-2):149-154. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.034>
- Jimenez-Uzcategui G, Vinueza R, Urbina A, Egas D, Garcia C, Cotin J, Sevilla C (2017) Lead and cadmium levels in Galapagos penguin *Spheniscus mendiculus*, flightless cormorant *Phalacrocorax harrisi*, and waved albatross *Phoebastria irrorata*. *Marine Ornithology* 45:159-163
- Kehrig H, Hauser-Davis R, Seixas T, Fillmann G (2015) Trace-elements, methylmercury and metallothionein levels in Magellanic penguin (*Spheniscus magellanicus*) found stranded on the Southern Brazilian coast. *Marine Pollution Bulletin* 96(1-2):450-455. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.006>
- King M, Elliot J, Williams T (2021) Effects of Petroleum Exposure on Birds: A Review. *Science of the Total Environment* 755:142834. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142834>
- Klocke C, Lein PJ (2020) Evidence Implicating Non-Dioxin-Like Congeners as the Key Mediators of Polychlorinated Biphenyl (PCB) Developmental Neurotoxicity. *International Journal of Molecular Sciences* 21(3):1013. <https://doi.org/10.3390/ijms21031013>
- Kumar A, Sivakumar R, Sai Rutwik Reddy Y, Bhagya Raja MV, Nishanth T, Revanth V (2016) Preliminary study on marine debris pollution along Marina beach, Chennai, India. *Regional Studies in Marine Science* 5:35-40. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2016.01.002>
- Le Bohec C, Whittington J, Le Maho Y (2013) Polar monitoring: seabirds as sentinels of marine ecosystems. En Verde C, di Prisco G (eds.) *Adaptation and Evolution in Marine Environments*, Volume 2, Springer Berlin Heidelberg
- Le Croizier G, Point D, Renedo M, Munaron J, Espinoza P, Amezcua-Martinez F, Lanco S, Lorrain A (2022) Mercury concentrations, biomagnification and isotopic discrimination factors in two seabird species from the Humboldt Current ecosystem. *Marine Pollution Bulletin* 177:113481. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113481>
- Leal F, Brusmarello A, dos Santos R, Petry M (2015) New record on the occurrence of Northern Giant Petrel (*Macronectes halli*) and analysis of stomach contents in southern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 10(4):309-314
- Lehman-McKeeman LD (2008) Absorption, distribution, and excretion of toxicants. Pp 131-159 en Klaassen CD (Ed.), *Casarett & Doull's toxicology: The basic science of poisons*. McGraw Hill Medical
- Lenzi J, Burgues M, Carrizo D, Machin E, Teixeira-de Mello F (2016) Plastic ingestion by a generalist seabird on the coast of Uruguay. *Marine Pollution Bulletin* 107(1):71-76. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.016>
- Lewis PJ, Lashko A, Chiaradia A, Allinson G, Shimeta J, Emmerson L (2022) New and legacy persistent organic pollutants (POPs) in breeding seabirds from the East Antarctic. *Environmental Pollution* 309:119734. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119734>
- Lewis PJ, McGrath TJ, Chiaradia A, McMahon CR, Emmerson L, Allinson G, Shimeta J (2020) A baseline for POPs contamination in Australian seabirds: little penguins vs. short-tailed shearwaters. *Marine Pollution Bulletin* 159:111488. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111488>
- Liu J, Tan Y, Song E, Song Y (2020) A critical review of polychlorinated biphenyls metabolism, metabolites, and their correlation with oxidative stress. *Chemical Research in Toxicology* 33(8):2022-2042. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.0c00078>
- Llorca M, Farré M, Eljarrat E, Díaz-Cruz S, Rodríguez-Mozaz S, Wunderlin D, Barcelo D (2017) Review of emerging contaminants in aquatic biota from Latin America: 2002-2016. *Environmental Toxicology and Chemistry* 36(7): 1716-1727. <https://doi.org/10.1002/etc.3626>
- Ludynia K, Garthe S, Luna-Jorquera G (2005) Seasonal and regional variation in the diet of the Kelp Gull in northern Chile. *Waterbirds* 28(3):359-365. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2005\)028\[0359:SARVIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2005)028[0359:SARVIT]2.0.CO;2)
- Maervoet, J, Chu SG, Vos D, Covaci A, Voorspoels S, Schrijver D, Schepens P (2004) Accumulation and tissue distribution of selected polychlorinated biphenyl congeners in chickens. *Chemosphere* 57(1):61-66. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.06.015>
- Magalhães KM, Carreira RS, Rosa Filho JS, Rocha PP, Santana FM, Yogui GT (2022) Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in fishery resources affected by the 2019 oil spill in Brazil: Short-term environmental health and seafood safety. *Marine Pollution Bulletin* 175:113334. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113334>
- Marques FP, Cardoso L, Haimovici M, Bugoni L (2018) Trophic ecology of Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) during the non-breeding period. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 210 1:09-122. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.06.001>
- Matos DM, Ramos JA, Brandão ALC, Baeta A, Rodrigues I, Dos Santos I, Antunes S, Silva V, Paiva VH (2024) Microplastics ingestion and endocrine disrupting chemicals (EDCs) by breeding seabirds in the east tropical Atlantic: Associations with tro-

- phic and foraging proxies ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$). *Science of The Total Environment* 912:168664. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119734>
- Meire RO, Lee SC, Yao Y, Targino AC, Torres JPM, Harner T (2012) Seasonal and altitudinal variations of legacy and current-use pesticides in the Brazilian tropical and subtropical mountains. *Atmospheric Environment* 59:108-116. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.05.018>
- Meyer J, Jaspers V, Eens M, de Coen W (2009) The relationship between perfluorinated chemical levels in the feathers and livers of birds from different trophic levels. *Science of the Total Environment* 407:5894-5900. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.07.032>
- Miglioranza K, Ondarza P, Costa P, de Azevedo A, Gonzalez M, Shimabukuro V, Grondona S, Mitton F, Barra R, Wania F, Fillmann G (2021) Spatial and temporal distribution of Persistent Organic Pollutants and current use pesticides in the atmosphere of Argentinean Patagonia. *Chemosphere* 266:129015. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129015>
- Morin-Crini N, Lichtfouse E, Liu G, et al. (2022) Worldwide cases of water pollution by emerging contaminants: a review. *Environmental Chemistry Letters* 20:2311-2338. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01447-4>
- Moura J, Tavares D, Lemos L, Acevedo-Trejos E, Saint-Pierre T, Siciliano S, Merico A (2018a) Interspecific variation of essential and non-essential trace elements in sympatric seabirds. *Environmental Pollution* 242:470-479. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.092>
- Moura J, Tavares D, Lemos L, Silveira V, Siciliano S, Hauser-Davis R (2018b) Variation in mercury concentration in juvenile Magellanic penguins during their migration path along the Southwest Atlantic Ocean. *Environmental Pollution* 238:397-403. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.021>
- Muñoz J, Forselledo R, Domingo A, Jiménez S (2023) Interspecific variability in plastic ingested by Procellariiformes off the Uruguayan coast. *Marine Pollution Bulletin* 197:115725. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115725>
- do Nascimento G, Pereira A, Brito G, Kolesnikovas C, Pereira Serafini P (2022) Prevalência e Tipos de Plásticos em Albatrozes e Petréis (Aves: Procellariiformes): Recorte Espacial da Costa Sudeste e Sul do Brasil, de 2015 a 2019. *Biodiversidade Brasileira* 12(1):15-24. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v12i1.1855>
- Newsted JL, Jones PD, Coady K, Giesy JP (2005) Avian toxicity reference values for perfluorooctane sulfonate. *Environmental Science and Technology* 39:9357-9362. <https://doi.org/10.1021/es050989v>
- Norman (2016) List of emerging contaminants. URL: <https://www.norman-network.com/?q=node/19>
- Nudi AH, Wagener A, Francioni E, Sette C, Sartori AV, Scofield A (2010) Biomarkers of PAHs exposure in crabs *Ucides cordatus*: laboratory assay and field study. *Environmental Research* 110:137-145. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2009.10.014>
- Nunes ZB, Zanardi-Lamardo E, Choueri RB, Castro ÍB (2021) Marine protected areas in Latin America and Caribbean threatened by polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental Pollution* 269:116194. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116194>
- Oliva AL, La Colla NS, Arias AH, Blasina GE, Lopez Cazorla A, Marcovecchio JE (2017) Distribution and human health risk assessment of PAHs in four fish species from a SW Atlantic estuary. *Environmental Science and Pollution Research* 24(23):18979-18990. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9394-6>
- Olivero-Verbel J, Agudelo-Frias D, Caballero-Gallardo K (2013) Morphometric parameters and total mercury in eggs of snowy egret (*Egretta thula*) from Cartagena Bay and Totumo Marsh, north of Colombia. *Marine Pollution Bulletin* 69:105-109. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.013>
- Olivero-Verbel J, Tao L, Johnson-Restrepo B, Guette-Fernández J, Baldiris-Avila R, O'byrne-Hoyos I, Kannan K (2006) Perfluorooctanesulfonate and related fluorochemicals in biological samples from the north coast of Colombia. *Environmental Pollution* 142: 367-372. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.09.022>
- Pacyna-Kuchta AD (2023) What should we know when choosing feather, blood, egg or preen oil as biological samples for contaminants detection? A non-lethal approach to bird sampling for PCBs, OCPs, PBDEs and PFASs. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 53(5):625-649. <https://doi.org/10.1080/10643389.2022.2077077>
- Padilha J, de Carvalho GO, Willems T, Lepoint G, Cunha L, Pessoa A, Eens M, Prinsen E, Costa E, Torres J, Dorneles P, Das K, Bervoets L, Groffen T (2022) Perfluoroalkylated compounds in the eggs and feathers of resident and migratory seabirds from the Antarctic Peninsula. *Environmental Research* 214: 114157. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114157>
- Padilha JAG, Santos S, Willems T, Souza-Kasprzyk J, Leite A, Cunha L, Costa E, Pessoa A, Eens M, Prinsen E, Torres J, Das K, Lepoint G, Dorneles P, Bervoets L, Groffen T (2024) Assessing the trophic ecology and migration on the exposure of cape petrels and Wilson's storm petrels from Antarctica to perfluoroalkylated substances, trace and major elements. *Environmental Research* 244:117827. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117827>
- Palma-Fleming H, Cornejo C, Gonzalez M, Perez V, González M, Gutierrez E, Sericano JL, Seeger M (2008) Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in coastal environments of Valdivia and Valparaíso, Chile. *Journal of the Chilean Chemical Society* 53(2):1533-1538. <http://>

- dx.doi.org/10.4067/S0717-97072008000200020
- Palmar M, Thakur L (2013) Heavy metal Cu, Ni and Zn: toxicity, health hazards and their removal techniques by low cost adsorbents: a short overview. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences* 3(3):143–157
- Pan Y, Zhang H, Cui Q, Sheng N, Yeung L, Sun Y, Guo Y, Dai J (2018) Worldwide distribution of novel perfluoroether carboxylic and sulfonic acids in surface water. *Environmental Science and Technology* 52:7621–7629. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00829>
- Pathak VM, Verma VK, Rawat BS, Kaur B, Babu N, Sharma A, Dewali S, Yadav M, Kumari R, Singh S, Mohapatra A, Pandey V, Rana N, Cunill JM (2022) Current status of pesticide effects on environment, human health and its eco-friendly management as bioremediation: A comprehensive review. *Frontiers in Microbiology* 13:962619. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.962619>
- Pedrobom J, Menegário A, Gemeiner H, Sulato E, Elias L, Serafini P, Rodriguez C, Barreto A, de Araújo Júnior M (2021) Intraspecific variation of trace elements in the kelp gull (*Larus dominicanus*): influence of age, sex and location. *Heliyon* 7(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05994>
- Perez MS (2016) Conteúdo gastrointestinal de petréis (Aves: Procellariiformes) no Litoral do Rio Grande do Sul, Brasil: análise dos itens alimentares e resíduos poliméricos. Tesis de Maestría, Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 39pp
- Pérez DJ, Iturburu FG, Calderon G, Oyesqui LAE, De Gerónimo E, Aparicio V (2021) Ecological risk assessment of current-use pesticides and biocides in soils, sediments and surface water of a mixed land-use basin of the Pampas region, Argentina. *Chemosphere* 263:128061. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128061>
- Petry M, Benemann V (2017) Ingestion of marine debris by the White-chinned Petrel (*Procellaria aequinoctialis*): Is it increasing over time off southern Brazil? *Marine Pollution Bulletin* 117(1-2):131-135. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.073>
- Petry M, da Silva Fonseca V, Krüger-Garcia L, da Cruz Piuco R, Brummelhaus J (2008) Shearwater diet during migration along the coast of Rio Grande do Sul, Brazil. *Marine Biology* 154:613-621. <https://doi.org/10.1007/s00227-008-0954-7>
- Petry M, Fonseca V, Scherer A (2007) Analysis of stomach contents from the black-browed albatross, *Thalassarche melanophris*, on the Coast of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Polar Biology* 30:321-325. <https://doi.org/10.1007/s00300-006-0186-6>
- Petry M, Krüger L, da Silva Fonseca V, Brummelhaus J, da Cruz Piuco R (2009) Diet and ingestion of synthetics by Cory's Shearwater *Calonectris diomedea* off southern Brazil. *Journal of Ornithology* 150:601-606. <https://doi.org/10.1007/s10336-009-0373-7>
- Pinto M, Siciliano S, Di Benedetto A (2007) Stomach contents of the Magellanic penguin *Spheniscus magellanicus* from the northern distribution limit on the Atlantic coast of Brazil. *Marine Ornithology* 35:77-78
- Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, COPS (2018) Actualización en la República Argentina / coordinación general de Leila Devia; dirigido por Leila Devia.-1a ed.-San Martín: Instituto Nacional de Tecnología Industrial-INTI
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2011). Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP). 48 pp
- Pórfido OD (2013) Los plaguicidas en la República Argentina/Osvaldo Daniel Pórfido con colaboración de Eduardo Butler *et al.* 1a ed.-Buenos Aires. Ministerio de Salud de la Nación. <https://www.fundacionfemeba.org.ar/blog/farmacologia-7/post/osvaldo-daniel-porfido-los-plaguicidas-en-la-republica-argentina-43290>
- Power A, White P, McHugh B, McGovern E, Murphy S, Berrow S, Schlittermann M, Gately C, Tannian M, Newton S, Crowley D, O'Hea L, Boyle B, O'Connor I (2021) Legacy and emerging contaminants in common guillemot *Uria aalge* eggs in Ireland and Wales. *Chemosphere* 283:131161. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131161>
- Primost MA, Commendatore M, Torres PJ, Bigatti G (2018) PAHs contamination in edible gastropods from north Patagonian harbor areas. *Marine Pollution Bulletin* 135:828-831. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.021>
- Provencher JF, Bond AL, Avery-Gomm S, Borrelle SB, Rebolledo ELB, Hammer S, Kühn S, Lavers J, Mallory M, Trevail A, van Franeker J (2017) Quantifying ingested debris in marine megafauna: a review and recommendations for standardization. *Analytical Methods* 9(9):1454-1469. <https://doi.org/10.1039/C6AY02419J>
- Provencher JF, Borrelle SB, Bond AL, Lavers JL, Van Franeker JA, Kühn S, et al. (2019b) Recommended best practices for plastic and litter ingestion studies in marine birds: Collection, processing, and reporting. *Facets* 4(1):111-130. <http://dx.doi.org/10.1139/facets-2018-0043>
- Provencher JF, Borrelle S, Sherley RB, Avery-Gomm S, Hodum, P, Bond A, et al. (2019a) Seabirds. Pp 133-162 en *World seas: An Environmental Evaluation (Second Edition)* Volume III: Ecological Issues and Environmental Impacts. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00007-3>
- Provencher JF, Covernton GA, Moore RC, Horn DA, Conkle JL, Lusher AL (2020) Proceed with caution: the need to raise the publication bar for microplastics research. *Science of the Total Environment* 748:141426. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141426>
- Provencher JF, Malaisé F, Mallory ML, Braune BM, Pi-

- rie-Dominix L, Lu Z (2022) 44-year retrospective analysis of ultraviolet absorbents and industrial antioxidants in seabird eggs from the Canadian Arctic (1975 to 2019). *Environmental Science & Technology* 56(20):14562-14573. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05940>
- Provencher JF, Vermaire JC, Avery-Gomm S, Braune BM, Mallory ML (2018) Garbage in guano? Microplastic debris found in faecal precursors of seabirds known to ingest plastics. *Science of the Total Environment* 644:1477-1484. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.101>
- Quadri-Adrogué A, Gómez-Ramírez P, García-Fernández A, García G, Seco-Pon J, Miglioranza K (2022) Feather mercury levels in beached Magellanic penguin (*Spheniscus magellanicus*) in northern Argentina during the non-breeding season. *Environmental Science and Pollution Research* 29(17):24793-24801. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17539-7>
- Quadri-Adrogué A, Miglioranza KSB, Copello S, Favero M, Seco Pon JP (2019) Pelagic seabirds as biomonitors of persistent organic pollutants in the Southwestern Atlantic. *Marine Pollution Bulletin* 149:110516. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110516>
- Quadri-Adrogué A, Seco Pon JP, García GO, Castano MV, Copello S, Favero M, Miglioranza KSB (2021) Chlorpyrifos and persistent organic pollutants in feathers of the near threatened Olrog's Gull in southeastern Buenos Aires Province, Argentina. *Environmental Pollution* 272:115918. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115918>
- Quinete N, Hauser-Davis RA, Lemos LS, Moura JF, Siciliano S, Gardinali PR (2020) Occurrence and tissue distribution of organochlorinated compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons in Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) from the southeastern coast of Brazil. *Science of the Total Environment* 749:141473. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141473>
- Ratcliffe DA (1967) Decrease in eggshell weight in certain birds of prey. *Nature* 215:208-210. <http://dx.doi.org/10.1038/215208a0>
- Recabarren-Villalon T, Ronda A, Arias A (2019) Polycyclic aromatic hydrocarbons levels and potential biomarkers in a native South American marine fish. *Regional Studies in Marine Science* 29:100695. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100695>
- Recabarren-Villalon T, Ronda A, La Sala L, Sanhueza C, Díaz L, Pirani L, Picone A, Romano R, Petracci P, Arias A (2023) First assessment of debris pollution in the gastrointestinal content of juvenile Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) stranded on the west south Atlantic coasts. *Marine Pollution Bulletin* 188:114628. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114628>
- Reichert G, Hilgert S, Fuchs S, Azevedo JCR (2019) Emerging contaminants and antibiotic resistance in the different environmental matrices of Latin America. *Environmental Pollution* 255:113140. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113140>
- Richir J, Gobert S (2016) Trace elements in marine environments: occurrence, threats and monitoring with special focus on the Costal Mediterranean. *Journal of Environmental and Analytical Toxicology* 6(1). <https://doi.org/10.4172/2161-0525.1000349>
- Ruddock PJ, Bird DJ, McCalley DV (2002) Bile metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in three species of fish from the Severn Estuary. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 51(2):97-105. [https://doi.org/10.1016/s0048-9697\(02\)00292-9](https://doi.org/10.1016/s0048-9697(02)00292-9)
- Rutkowska M, Płotka-Wasyłka J, Lubinska-Szczygeł M, Różańska A, Możejko-Ciesielska J, Namieśnik J (2018) Birds' feathers—suitable samples for determination of environmental pollutants. *Trends in Analytical Chemistry* 109:97-115. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.09.022>
- Sabzevari S, Hofman J (2022) A worldwide review of currently used pesticides' monitoring in agricultural soils. *Science of The Total Environment* 812:152344. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152344>
- dos Santos Lima G, Menegario A, Suarez C, Kamazuka S, Gemeiner H, Sánchez-Sarmiento A, Beneton Ferioli R, Barreto A (2023) Pelagic and estuarine birds as sentinels of metal (loid) s in the South Atlantic Ocean: Ecological niches as main factors acting on bioaccumulation. *Environmental Pollution* 326:121452. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121452>
- Scheuhammer AM, Basu N, Burgess NM, Elliott JE, Campbell GD, Wayland M, Champoux L, Rodrigue J (2008) Relationships among mercury, selenium, and neurochemical parameters in common loons (*Gavia immer*) and bald eagles (*Haliaeetus leucocephalus*). *Ecotoxicology* 17:93-101. <https://doi.org/10.1007/s10646-007-0170-0>
- Schreiber E, Burger J (2002) Biology of Marine Birds. *CRC Press*: 485-527
- Scoville SA, Lane OP (2013) Cerebellar abnormalities typical of methylmercury poisoning in a fledged saltmarsh sparrow, *Ammodramus caudatus*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 90:616-620. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-0974-y>
- Sebastiano M, Bustamante P, Costantini D, Eulaers I, Malarvannan G, Mendez-Fernandez P, Churlaud C, Blévin P, Hauselmann A, Dell'Omo G, Covaci A, Eens M, Chastel O (2016) High levels of mercury and low levels of persistent organic pollutants in a tropical seabird in French Guiana, the Magnificent frigatebird, *Fregata magnificens*. *Environmental Pollution* 214:384-393. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.03.070>
- Sebastiano M, Bustamante P, Eulaers I, Malarvannan G, Mendez-Fernandez P, Churlaud C, Blévin P, Hauselmann A, Covaci A, Eens M, Costantini D, Chastel O (2017) Trophic ecology drives contaminant concentrations within a tropical seabird community. *Environmental Pollution* 227:183-193. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.040>
- Sebastiano M, Costantini D, Eens M, Pineau K, Busta-

- mante P, Chastel O (2022) Possible interaction between exposure to environmental contaminants and nutritional stress in promoting disease occurrence in seabirds from French Guiana: a review. *Regional Environmental Change* 22(2):63. <http://dx.doi.org/10.3389/fevo.2022.963512>
- Sebastiano M, Jouanneau W, Blévin P, Angelier F, Parenteau C, Gernigon J, Lemesle JC, Robin F, Pardon P, Budzinski H, Labadie P, Chastel O (2021) High levels of fluoroalkyl substances and potential disruption of thyroid hormones in three gull species from South Western France. *Science of The Total Environment* 765:1144611. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144611>
- Sebastiano M, Jouanneau W, Blévin P, Angelier F, Parenteau C, Pallud M, Ribout C, Gernigon J, Lemesle JC, Robin F, Pardon P, Budzinski H, Labadie P, Chastel O (2023) Physiological effects of PFAS exposure in seabird chicks: a multi-species study of thyroid hormone triiodothyronine, body condition and telomere length in South Western France. *Science of The Total Environment* 901:165920. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165920>
- Seco Pon JP, Álvarez VA, Torres Nicolini A, Rosenthal AF, García GO (2023) Ingestion of marine debris by juvenile Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) in wintering grounds of coastal Argentina. *Marine Pollution Bulletin* 193: 115247. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115247>
- Seco Pon JP, Beltrame O, Marcovecchio J, Favero M, Gandini P (2011) Trace metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn) in feathers of black-browed albatross *Thalassarche melanophrys* attending the Patagonian Shelf. *Marine Environmental Research* 72(1-2):40-45. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2011.04.004>
- Sepúlveda M, González-Acuña D (2014) Comparison of heavy metals from resident *Larus dominicanus* and migratory *Leucophaeus pipixcan* collected in Talcahuano, Chile. *Archivos de Medicina Veterinaria* 46(2):299-304
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) (2021) Resolución 414 – Clorpirifos etil y clorpirifos metil – Prohibición de importación. URL: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-414-2021-352683>
- Signa G, Mazzola A, Vizzini S (2021) Seabird influence on ecological processes in coastal marine ecosystems: An overlooked role? A critical review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 250:107164. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107164>
- da Silva TF, de Almeida Azevedo D, de Aquino Neto FR (2007) Polycyclic aromatic hydrocarbons in fishes and sediments from the Guanabara Bay, Brazil. *Environmental Forensics* 8(3):257-264. <https://doi.org/10.1080/15275920701506433>
- da Silva D, Colabuono F, Taniguchi S, Petry M, Montone R (2023) Persistent organic pollutant patterns in seabirds from marine protected areas in the tropical Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 186:114461. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114461>
- Souza MCO, Rocha BA, Adeyemi JA, Nadal M, Domingo JL, Barbosa F Jr (2022) Legacy and emerging pollutants in Latin America: A critical review of occurrence and levels in environmental and food samples. *Science of the Total Environment* 848:157774. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157774>
- de Souza Guida Y, Meire RO, Torres JPM, Malm O (2018) Air contamination by legacy and current-use pesticides in Brazilian mountains: an overview of national regulations by monitoring pollutant presence in pristine areas. *Environmental Pollution* 242 (Part A):19–30. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.061>
- Stewart FM, Furness RW, Monteiro LR (1996) Relationships between heavy metal and metallothionein concentrations in lesser black-backed gulls, *Larus fuscus*, and Cory's shearwater, *Calonectris diomedea*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 30:299–305. <https://doi.org/10.1007/BF00212287>
- Süßring R, Baak JE, Letcher RJ, Braune BM, de Silva A, Dey C, Fernie K, Lu Z, Mallory ML, Avery-Gomm S, Provencher JF (2022) Co-contaminants of microplastics in two seabird species from the Canadian Arctic. *Environmental Science and Technology* 12:100189. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2022.100189>
- Sun J, Xing L, Chu J (2023) Global ocean contamination of per-and polyfluoroalkyl substances: A review of seabird exposure. *Chemosphere* 330:138721. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138721>
- Tartu S, Angelier F, Wingfield JC, Bustamante P, Labadie P, Budzinski H, Weimerskirch H, Bustnes JO, Chastel O (2015) Corticosterone, prolactin and egg neglect behavior in relation to mercury and legacy POPs in a long-lived Antarctic bird. *Science of the Total Environment* 505:180–188. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.008>
- Tartu S, Bustamante P, Goutte A, Cherel Y, Weimerskirch H, Bustnes JO, Chastel O (2014) Age-related mercury contamination and relationship with luteinizing hormone in a long-lived Antarctic bird. *PLoS One* 9(7): e103642. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103642>
- Tartu S, Goutte A, Bustamante P, Angelier F, Moe B, Clément-Chastel C, Bech C, Gabrielsen GW, Bustnes JO, Chastel O (2013) To breed or not to breed: endocrine response to mercury contamination by an Arctic seabird. *Biology Letters* 9(4):20130317. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2013.0317>
- Tavares D, de Moura J, Merico A, Siciliano S (2017) Incidence of marine debris in seabirds feeding at different water depths. *Marine Pollution Bulletin* 119(2):68-73. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.012>
- Thomaidis NS, Asimakopoulou AG, Bletsou AA (2012) Emerging contaminants: a tutorial mini-review. *Global NEST Journal* 14(1):72-79. <https://doi.org/10.30955/gnj.000823>

- Torget V, Bernhoft A, Müller MH, Polder A, Viljugrein H, Madslie K, Lyche JL (2024) The red listed eagle owl (*Bubo bubo*) population in Norway is exposed to POP levels exceeding threshold values for adverse health effects. *Environment International* 186:108650. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108650>
- Tourinho PS, do Sul J, Fillmann G (2010) Is marine debris ingestion still a problem for the coastal marine biota of southern Brazil? *Marine Pollution Bulletin* 60(3):396-401. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.10.013>
- Troisi G, Barton S, Bexton S (2016) Impacts of oil spills on seabirds: Unsustainable impacts of non-renewable energy. *International Journal of Hydrogen Energy* 41(37):16549-16555. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.04.011>
- Tsipoura N, Burger J, Newhouse M, Jeitner C, Gochfeld M, Mizrahi D (2011) Lead, mercury, cadmium, chromium, and arsenic levels in eggs, feathers, and tissues of Canada geese of the New Jersey Meadowlands. *Environmental Research* 111(6):775-784. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.05.013>
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2016) Marine plastic debris and microplastics—global lessons and research to inspire action and guide policy change. Nairobi, 252 pp
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2019) Ninth Meeting of the Conference of the Parties to the Stockholm Convention, 2019. UNEP. UNEP/POPS/COP.9/SC-9/12. <http://chm.pops.int/Implementation/Alternatives/AlternativestoPOPs/ChemicalslistedinAnnexA/tabid/5837/Default.aspx>
- Vanstreels RET, Gallo L, Serafini PP, Santos AP, Egert L, Uhart MM (2021) Ingestion of plastics and other debris by coastal and pelagic birds along the coast of Espírito Santo, Eastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 173113046. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113046>
- Vega C, Siciliano S, Barrocas P, Hacon S, Campos R, do Couto J, Ott P (2010) Levels of cadmium, mercury, and lead in magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) stranded on the Brazilian Coast. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 58:460-468. <https://doi.org/10.1007/s00244-009-9349-0>
- Villaamil Lepori EC, Mitre GB, Nassetta M (2013) Situación actual de la contaminación por plaguicidas en Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29:25-43. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37028958002>
- Wang H, Fan Z, Kuang Z, Yuan Y, Liu H, Huang H (2021) Heavy metals in marine surface sediments of daya bay, southern China: spatial distribution, sources apportionment, and ecological risk assessment. *Frontiers in Environmental Science* 9:755873. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.755873>
- Wells MR, Coggan TL, Stevenson G, Singh N, Askeland M, Lea MA, Philips A, Carver S (2024) Per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in little penguins and associations with urbanisation and health parameters. *Science of The Total Environment* 912:169084. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169084>
- Whitney MC, Cristol DA (2017) Impacts of sublethal mercury exposure on birds: a detailed review. Pp 113-163 en: de Voogt P (ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Springer International Publishing, Cham, Switzerland. https://doi.org/10.1007/398_2017_4
- Yamazaki E, Taniyasu S, Wang X, Yamashita N (2021) Per- and polyfluoroalkyl substances in surface water, gas and particle in open ocean and coastal environment. *Chemosphere* 272:129869. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129869>
- Yin X, Xia L, Sun L, Luo H, Wang Y (2008) Animal excrement: a potential biomonitor of heavy metal contamination in the marine environment. *Science of the Total Environment* 399(1-3):179-185. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.03.005>
- Yorio P, Marinao C, Kasinsky T, Ibarra C, Suárez N (2020) Patterns of plastic ingestion in Kelp Gull (*Larus dominicanus*) populations breeding in northern Patagonia, Argentina. *Marine Pollution Bulletin* 156:111240. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111240>
- Zarn A, Valle C, Brasso R, Fetzner W, Emslie S (2020) Stable isotope and mercury analyses of the Galápagos Islands seabird community. *Marine Ornithology* 48:71-80