

Efectos de microplásticos en vertebrados acuáticos de América Latina y el Caribe

Efeitos dos microplásticos nos vertebrados aquáticos do América Latina e no Caribe

Microplastic effects in aquatic vertebrates from Latin America and the Caribbean

Florencia E. Plaul¹, Franco Cecchetto², Florencia E. Fernández², Luciana Gallo³, Sebastián Grondona², Mercedes Lourido², Paola M. Ondarza², Mónica Primost⁴, Nicolas D. Vazquez², Natalia Cappelletti¹, Karina SB Miglioranza²

¹Laboratorio Ambiental, Universidad Nacional de Avellaneda, Avellaneda. Argentina.

²Laboratorio de Ecotoxicología y Contaminación Ambiental. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), Universidad Nacional de Mar del Plata-CONICET, Mar del Plata. Argentina

³Instituto de Biología de Organismos Marinos, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Puerto Madryn, Chubut, Argentina; Coordinación Regional de Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, Regional Patagonia Sur, Coordinación Regional de Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

⁴Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Chubut. Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Acuicultura y Pesca (UTN-FRCH-GIDTAP). Puerto Madryn, Chubut, Argentina. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Cita: Plaul FE, Cecchetto F, Fernández FE, Gallo L, Grondona S, Lourido M et al. Efectos de microplásticos en vertebrados acuáticos de América Latina y el Caribe. Rev Salud ambient. 2024; 24(1):88-99.

Recibido: 3 de diciembre de 2023. **Aceptado:** 20 de abril de 2024. **Publicado:** 15 de junio de 2024.

Autor para correspondencia: Karina SB Miglioranza
Correo e: kmiglor@mdp.edu.ar

Financiación: No se ha contado con financiación para el desarrollo de este trabajo.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en la realización del estudio.

Declaraciones de autoría: conceptualización: FEP, KSBM; metodología: FEP, SG, KSBM; redacción-borrador original: Todos los autores contribuyeron por igual al diseño del estudio y la redacción del artículo.

Resumen

La presencia de micro (MPs) y nanoplasticos (NPs) ha sido objeto de exhaustivos estudios a nivel mundial. Sin embargo, la investigación enfocada en evaluar las consecuencias ecotoxicológicas de la exposición en ecosistemas es limitada, especialmente en especies presentes en la región de América Latina y el Caribe. En tal sentido, se llevó a cabo una revisión sistemática de la información disponible sobre los efectos de MPs y/o NPs en organismos acuáticos de esta región. Desde el año 2001, los MPs han sido identificados como contaminantes de preocupación emergente. A lo largo del tiempo, se observó un incremento marcado de estudios que documentan su presencia en organismos, destacando a Brasil como uno de los países con mayor número de investigaciones a nivel regional. Entre los polímeros más estudiados para evaluar los efectos toxicológicos se encuentran el poliestireno y el polietileno, y en menor medida otros compuestos y mezclas. Estudios realizados en diversas especies de vertebrados acuáticos, han revelado una amplia diversidad de efectos en los organismos, siendo la clase Peces el grupo más estudiado. Alteraciones inmunológicas y neurológicas, cambios en el comportamiento reproductivo, genotoxicidad y la modificación de la ingesta de alimentos son algunos de los efectos comúnmente documentados. En América Latina y el Caribe, intensificar la investigación sobre los efectos de MPs y NPs emerge como un imperativo estratégico. Este esfuerzo no solo expandirá el conocimiento acerca de las dinámicas específicas de estos contaminantes a nivel regional, sino que también enriquecerá la comprensión global de esta problemática en constante crecimiento.

Palabras clave: microplásticos; ambiente acuático; efectos; contaminantes; plantas; invertebrados; vertebrados.

Resumo

A presença de micro (MPs) e nanopartículas (NPs) plásticas tem sido objeto de estudos abrangentes em todo o mundo. No entanto, a pesquisa focada em avaliar as consequências ecotoxicológicas da exposição em ecossistemas é limitada, especialmente em espécies presentes na região da América Latina e do Caribe. Nesse sentido, foi realizada uma revisão sistemática das informações disponíveis sobre os efeitos de MPs e/ou NPs em organismos aquáticos dessa região. Desde 2001, os MPs foram identificados como contaminantes de preocupação emergente. Ao longo do tempo, houve um aumento significativo em estudos que documentam sua presença em organismos, destacando o Brasil como um dos países com maior número de pesquisas a nível regional. Entre os polímeros mais estudados para avaliar os efeitos toxicológicos estão o poliestireno e o polietileno, e em menor medida, outros compostos e misturas. Estudos realizados em diversas espécies de vertebrados aquáticos revelaram uma ampla diversidade de efeitos nos organismos, sendo a classe Pisces o grupo mais estudado. Alterações imunológicas e neurológicas, mudanças no comportamento reprodutivo, genotoxicidade e modificação na ingestão de alimentos são alguns dos efeitos comumente documentados. Na América Latina e no Caribe, intensificar a pesquisa sobre os efeitos de MPs e NPs emerge como um imperativo estratégico. Esse esforço não apenas expandirá o conhecimento sobre as dinâmicas específicas desses contaminantes a nível regional, mas também enriquecerá a compreensão global dessa problemática em constante crescimento.

Palavras-chave: microplásticos, ambiente aquático, efeitos, poluentes, plantas, invertebrados, vertebrados, vertebrados.

Abstract

The presence of micro (MPs) and nanoplastics (NPs) has undergone comprehensive global studies. However, research focused on assessing ecotoxicological consequences of exposure in ecosystems is limited, especially for species found in the Latin American and Caribbean region. In this regard, a systematic review of available information on the effects of MPs and/or NPs on aquatic organisms in this region was conducted. Since 2001, MPs have been identified as emerging contaminants. Over time, there has been a marked increase in studies documenting their presence in organisms, with Brazil standing out as one of the countries with the highest number of investigations at the regional level. Polystyrene and polyethylene are the most studied polymers to assess toxicological effects, along with other compounds and mixtures to a lesser extent. Studies conducted on various species of aquatic vertebrates have revealed a wide diversity of effects on organisms, with the Pisces class being the most studied group. Immunological and neurological alterations, changes in reproductive behavior, genotoxicity, and modifications in food intake are some of the commonly documented effects. In Latin America and the Caribbean, intensifying research on the effects of MPs and NPs emerges as a strategic imperative. This effort will not only expand knowledge about the specific dynamics of these contaminants at the regional level but also enrich the global understanding of this continually growing issue.

Keywords: microplastics, aquatic environment, effects, pollutants, plants, invertebrates, vertebrates, vertebrates.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la producción de materias primas plásticas está experimentando un crecimiento que supera el ritmo de la economía mundial¹. El uso generalizado y la durabilidad de los plásticos han contribuido a su presencia como contaminantes, encontrándose en diversos entornos. Los desechos plásticos con un diámetro menor a cinco milímetros se denominan “microplásticos”. Una vez en el ambiente, estos comienzan a experimentar procesos de degradación y la formación de partículas aún más pequeñas, llamadas “nanoplásticos” (NPs) (partículas < 0,1 μm , según la clasificación propuesta por Lambert²).

Los desechos plásticos mal administrados, las zonas de descargas y manejo inadecuado de aguas residuales, los procesos de abrasión industrial (por ejemplo, chorro de aire), pinturas sintéticas y neumáticos para automóviles, contribuyen significativamente a la generación de microplásticos, los cuales por diversos medios son transportados a los ecosistemas acuáticos³.

A pesar de su alta resistencia a las condiciones ambientales, una vez que ingresan al ambiente, todos los plásticos progresivamente se fragmentan a través de diversos procesos⁴⁻⁶. Estos fragmentos resultantes se dispersan en los sedimentos y en las zonas costeras con una alta probabilidad de ser ingeridos por animales. Las diferentes fuentes de plásticos al ambiente dan como resultado partículas de diversas formas, composiciones, tamaños, etc. Es importante señalar que las partículas producidas en entornos industriales bajo condiciones controladas tienden a exhibir una mayor homogeneidad y uniformidad⁷.

La presencia de microplásticos ha sido evaluada en múltiples trabajos desde la década del '70, por ejemplo, los estudios realizados en las aguas costeras del sur de Nueva Inglaterra^{8,9} y las playas de Nueva Zelanda¹⁰.

La presencia de estas partículas genera preocupación ante los posibles impactos múltiples que podrían ejercer en los ecosistemas. La variabilidad en sus formas, tamaños

y composiciones contribuye a que su interacción con la biota y los efectos que provocan en la calidad de los entornos donde se detectan se manifiestan de diversas formas. La amplia presencia de MPs en los ecosistemas acuáticos a nivel mundial y sus diversas propiedades fisicoquímicas, hacen que una variedad extensa de organismos acuáticos sea susceptible a interactuar con estos contaminantes.

Los MPs son altamente biodisponibles, ya sea por ingestión directa o indirectamente a través de la transferencia trófica desde presas contaminadas^{11,12}.

El potencial de bioacumulación de los MPs es alto, dado que pueden ser ingeridos por diversos organismos, como el plancton, y posteriormente acumularse a lo largo de la red alimentaria acuática¹³.

El conocimiento actual sobre los efectos negativos de los plásticos en los organismos se basa principalmente en las consecuencias observables y hasta incluso letales¹⁴. Una vez ingeridos, los MPs pueden causar daños físicos en tejidos, provocar abrasiones, y generar bloqueos internos¹⁵. También puede reducir la capacidad de alimentación y consecuentemente disminución de las reservas energéticas, y se los ha asociado con efectos histopatológicos en la mucosa intestinal¹⁶.

OBJETIVO

Realizar una revisión sistemática de la información sobre los efectos de MPs y/o NPs en organismos vertebrados acuáticos cuya distribución geográfica involucre a América Latina y el Caribe. Este análisis comprende la identificación y evaluación crítica de estudios relevantes, considerando aspectos geográficos, grupos de organismos según clasificación taxonómica, y efectos observados, con el objetivo de proporcionar una síntesis integral de la literatura científica actual en esta región.

MATERIALES Y MÉTODOS

En esta revisión de la literatura sobre los efectos de MPs y NPs en organismos acuáticos de América Latina y el Caribe, no solo se llevó a cabo una evaluación integral de los trabajos específicamente diseñados para analizar los impactos en los organismos, sino que también incluyó aquellos que abordaron la mera presencia de estos contaminantes.

En este sentido, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de tipo narrativa, que aborda la presencia y los efectos de los MPs en organismos acuáticos de América Latina y el Caribe.

La búsqueda abarcó artículos científicos publicados hasta noviembre de 2023 y se realizó en bases de datos internacionales, incluyendo Scielo, Medline, Springer, Scopus y Science Direct. Además, se consideraron trabajos publicados en actas de congresos. Considerando todos los países de la región de América Latina y el Caribe, se emplearon las siguientes palabras clave: "microplásticos", "organismos acuáticos", "efectos", "ambiente", "estrés oxidativo", "enzimas", "daño a macromoléculas" y "contaminantes". Los criterios de inclusión y extracción de datos consideraron trabajos científicos en inglés, portugués y español. Los trabajos científicos seleccionados debían abordar la presencia y los efectos de MPs y/o NPs en organismos acuáticos cuya área de distribución incluyera a América Latina y el Caribe. Se excluyeron estudios bajo condiciones controladas de laboratorio, informes de casos y libros. Para ampliar la búsqueda, se revisaron las listas de referencias de los trabajos encontrados para identificar posibles artículos adicionales.

La información extraída de cada trabajo analizado incluyó año y lugar de publicación, tipo de polímero utilizado o reportado, grupo de organismos estudiados y tipo de efecto ecotoxicológico observado.

RESULTADOS

Los trabajos incluidos en esta revisión se muestran en la tabla 1. El primer trabajo sobre los efectos de los MPs en vertebrados acuáticos, con distribución en esta región, fue publicado en 2017¹⁷. La revisión incluyó trabajos de 6 países, de los cuales tres pertenecían a América Latina, incluyendo a Argentina, Brasil y Ecuador. Cabe destacar que Brasil sobresalió como el país con la mayor contribución en investigaciones sobre los efectos de MPs y NPs en vertebrados acuáticos (figura 1 y 2), representando el 50,0 % a nivel regional y el 39,13 % a nivel internacional.

En términos de diversidad, se evaluaron 20 trabajos sobre los efectos de MPs y NPs sobre especies de vertebrados acuáticos; entre los grupos analizados, la clase Peces presentó la mayor cantidad de trabajos.

1. SUBPHYLUM VERTEBRATA

El conocimiento actual sobre los efectos negativos de los plásticos en los vertebrados se basa mayormente en las consecuencias observables y letales como el enmalle, asfixia, mutilación de extremidades u obstrucción gastrointestinal²⁴. Sin embargo, la ingesta de plástico ocasiona también otros tipos de efectos que suelen ser menos visibles, como la toxicidad derivada de la desorción de aditivos plásticos (ej. ftalatos, estabilizadores UV) y/o liberación de contaminantes adsorbidos del medio ambiente (ej. PCBs, PAHs, plaguicidas organoclorados)¹⁸⁻²¹.

Tabla 1. Publicaciones que formaron parte de la revisión sobre efectos de MPs y NPs en especies de vertebrados de América Latina

AUTOR	AÑO	PAÍS	ESPECIE
Silva-Cavalcanti J.S. ¹⁷	2017	Brasil	<i>Hoplosternum littorale</i>
Fackelmann G. ²²	2023	Australia	<i>Calonectris borealis</i>
Lino Domínguez ²⁵	2020	Ecuador	<i>Auxis thazard</i> , <i>Scomber japonicus</i> y <i>Opisthonema libertate</i>
Martins M.G.R. ²⁶	2021	Brasil	<i>Colossoma macropomum</i> X <i>Piaractus brackypomus</i>
Macias Tumbaco N.N. ²⁷	2022	Ecuador	<i>Auxis thazard</i> y <i>Scomber japonicus</i>
Arias A.H. ²⁸	2019	Argentina	<i>Micropogonias furnieri</i>
Zheng S. ²⁹	2024	China	<i>Oreochromis niloticus</i>
Ding J. ³⁰	2018	China	<i>Oreochromis niloticus</i>
Seeley M.E. ³¹	2023	EE.UU.	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
de Campos J.M. ³²	2023	Brasil	<i>Astyanax lacustris</i>
Li W.W. ³³	2022	China	<i>Coryphaena hippurus</i> L.
Do Carmo da Silva D ³⁴	2021	Brasil	<i>Colossoma macropomum</i> X <i>Piaractus brackypomus</i>
Do Carmo da Silva D ³⁵	2021	Brasil	<i>Colossoma macropomum</i> X <i>Piaractus brackypomus</i>
Attademo A. ³⁸	2022	Argentina	<i>Scinax squalirostris</i>
Pereira da Costa Araújo A ⁴⁰	2020	Brasil	<i>Physalaemus cuvieri</i>
Pereira da Costa Araújo A. ⁴¹	2020	Brasil	<i>Physalaemus cuvieri</i>
Pereira da Costa Araújo A. ⁴²	2022	Brasil	<i>Physalaemus cuvieri</i>
Pereira da Costa Araújo A. y Malafaia G. ⁴³	2020	Brasil	<i>Physalaemus cuvieri</i>
Attademo A. ⁴⁴	2023	Argentina	<i>Rhinella arenarum</i>
Lajmanovich R.C. ⁴⁵	2022	Argentina	<i>Scinax squalirostris</i>

Figura 1. Número de estudios y organismos analizados por país sobre efectos de MPs y NPs en organismos acuáticos de América Latina y el Caribe

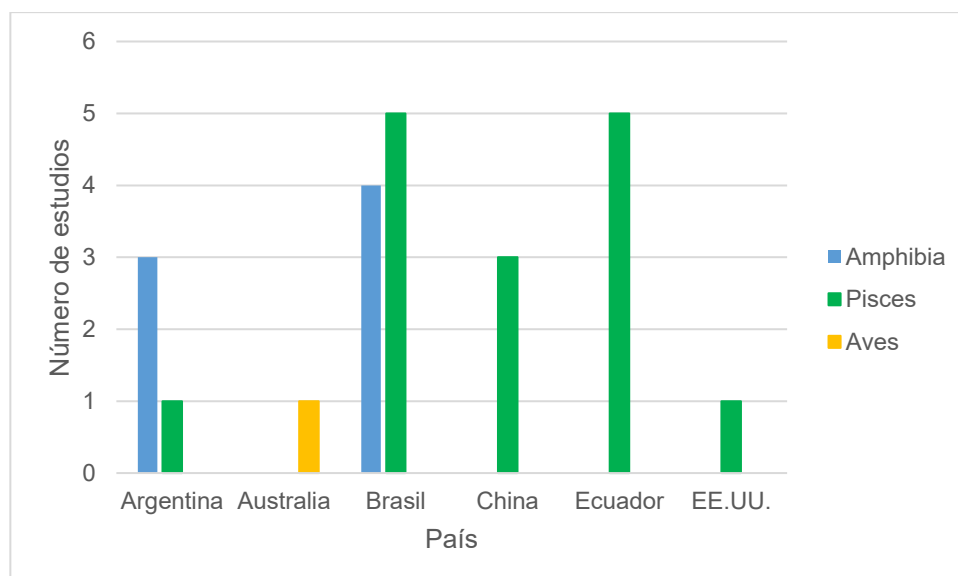
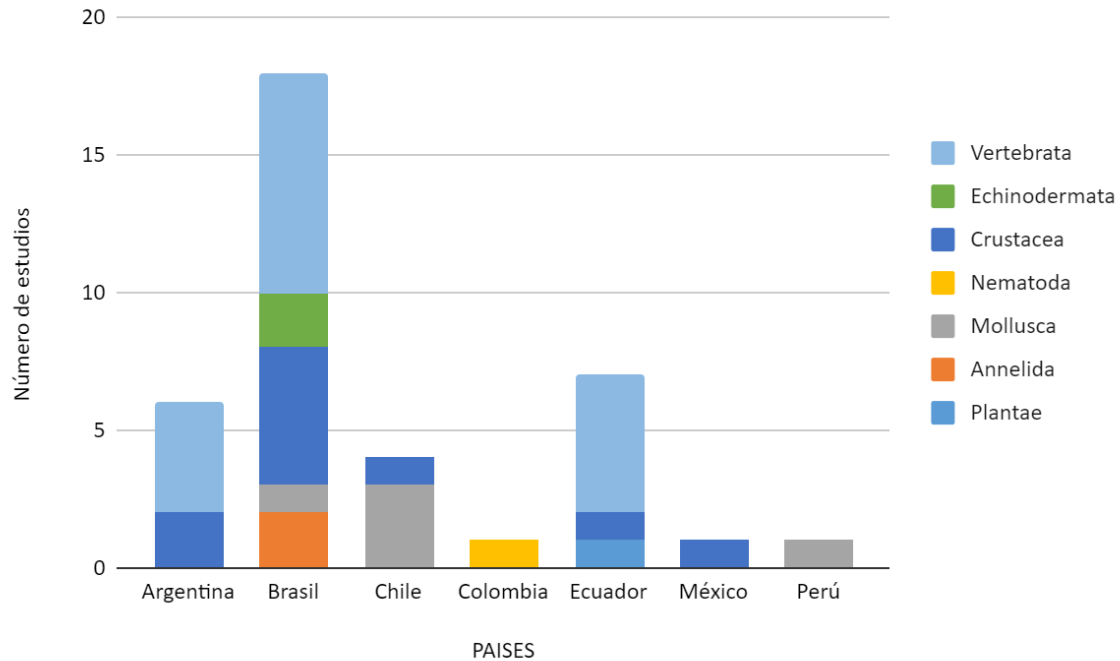


Figura 2. Número de estudios y organismos analizados por país sobre efectos de micro y NPs en organismos acuáticos de América Latina y el Caribe



La mayoría de estas sustancias son altamente tóxicas, e inducen una gran variedad de efectos crónicos y sub-letales, interfiriendo por ejemplo con el sistema endocrino y microbioma intestinal²². Además, otros efectos documentados de la ingesta de plástico son la dilución dietaria¹⁴, inanición, la reducción de la masa corporal, condición y el tamaño de la descendencia, disminución de las reservas de grasa, cambios en la bioquímica sanguínea asociados con deficiencias dietéticas y energéticas y fibrosis ("plasticosis") descrita recientemente en pardelas (*Ardena carneipes*).

2. CLASE PISCES

Los peces son uno de los grupos de animales más diversos, de gran importancia ecológica y comercial. Son utilizados como indicadores sensibles de los efectos asociados a estresores. Una revisión reciente indica que 427 especies de peces, en más de 20 países de todo el mundo han ingerido plástico¹⁵, causando obstrucciones internas y lesiones en el tracto digestivo de los peces²³. Existe un incremento en el número de estudios sobre la presencia de MPs en América del Sur centrados principalmente en estuarios y evidenciando el potencial impacto ecológico y económico de este contaminante. Pazos et al. (2017)²⁴ encontró MPs (fibras mayormente) en contenido intestinal de 11 especies de peces costeros de agua dulce del estuario del Río de la Plata. Sin embargo, los estudios sobre los efectos son escasos y se basan principalmente en el desarrollo de bioensayos, como los realizados sobre el pez híbrido *Colossoma macropomum* X *Piaractus brackypomus*, en el cual la exposición a MPs

causó cambios en la hiperplasia de células calciformes, en la ubicación del núcleo del enterocito, hipertrofia de la capa muscular y enteritis²⁴. Alteraciones en la respuesta inmune e histopatológicas en branquias fueron reportadas en la misma especie.

En Ecuador se evaluó la presencia de MPs en las branquias y en el tracto digestivo de *Auxis thazard* y *Scomber japonicus*^{25,27}, y se determinó que el bajo número de MPs encontrados en el tracto digestivo no evidenció efectos adversos, pero la prevalencia en tiempo y frecuencia de la ingestión podría ocasionar obstrucción del tracto²⁷. Otro estudio realizado en las especies antes mencionadas y en *Opisthonema libertate*²⁷ también plantea que la exposición crónica a estos contaminantes puede ocasionar una reducción de las reservas de energía y alteraciones endocrinas. En el pez *Hoplosternum littorale*¹⁷ se determinó que cuanto mayor es la ingestión de desechos plásticos, menor es la diversidad y mayor es la dominancia de otros alimentos en el intestino de cada pez. Sin embargo, la ingestión de MPs tuvo un impacto limitado en *H. littorale*¹⁷.

En Argentina, Arias y cols.²⁸ encontró una correlación positiva entre el número de MPs en corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) y su índice hepatosomático. Dado que el hígado tiene una función de desintoxicación, la exposición a contaminantes puede provocar un aumento del tamaño del hígado como resultado de hipertrofia, hiperplasia o ambas. Un incremento en el índice hepatosomático con el número de MPs en peces sugiere un empobrecimiento del estado de salud. En

el caso el pez de agua dulce tilapia roja (*Oreochromis niloticus*) la exposición a poliestireno inhibió la actividad de la acetilcolinesterasa (AChE) en el cerebro, sugiriendo que estas partículas pueden causar neurotoxicidad en *O. niloticus*. La actividad de la enzima antioxidante superóxido dismutasa (SOD) en el hígado se indujo significativamente durante el período de exposición, mientras que el contenido de malondialdehído (MDA) no lo hizo, lo que sugiere que el sistema enzimático antioxidante en *O. niloticus* podría prevenir el daño oxidativo^{29,30}. Se evaluó la mortalidad de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) al ser expuesta a partículas de espuma de poliestireno expandido y al virus IHNV (*Salmonid novirhabdovirus*). La tasa de mortalidad experimentó un aumento significativo cuando los peces fueron expuestos de manera simultánea al virus y MP, especialmente microfibras, en comparación con la exposición solo al virus. Se sugiere que los MP podrían comprometer la integridad de los tejidos del hospedador, facilitando así que los patógenos evadan las defensas del organismo. Se expusieron MP y NPs de poliestireno a *Oreochromis niloticus* para evaluar sus impactos en la función respiratoria³¹. Según los resultados del consumo de oxígeno y el análisis histológico, los tres tratamientos podrían inducir daños respiratorios y dichos impactos fueron más severos para los tratamientos de 2 µm y 20 µm que para el tratamiento de 80 nm. Aunque las partículas de poliestireno de tamaño nanométrico tenían el potencial de penetrar el epitelio respiratorio y alcanzar la estructura interna de las branquias de *O. niloticus*, fueron expulsadas fácilmente a través de la circulación sanguínea.

Se observaron posibles efectos de MP, PAHs y su mezcla (PAHs+MP) en la osmorregulación y el sustrato energético del pez tropical *Astyanax lacustris*. Después de las 96 hs de exposición los PAHs de bajo peso molecular, no se detectaron en MP cargada con PAHs ni en PAHs en combinación con MP (PAHs+MP)³². La concentración de PAHs del MP cargado y PAHs+MP fue similar y baja en comparación con otros trabajos. Los MP sin alterar, PAHs, MPC y PAHs+MP pudieron provocar el agotamiento del glucógeno muscular. Sin embargo, el equilibrio hidromineral no se vio afectado por ningún tratamiento. En este sentido, podemos concluir que el MPC provocó alteraciones osmorreguladoras no observadas en el MP asociado a PAHs³². Por otro lado, se evaluaron los efectos de MP en 15 dorados (*Coryphaena hippurus* L.)³³ de importancia comercial. Se extrajeron 1741 partículas sospechosas de branquias, esófago, estómagos, tracto intestinal y músculo de *C. hippurus*. Sólo 139 de ellos fueron identificados como MP mediante inspecciones microscópicas y análisis espectroscópicos Raman. Los resultados del acoplamiento molecular implican que la interacción de los cuatro polímeros MP dominantes (PES, PET, PP y PS) con el citocromo P450 17A1 conduciría a un deterioro de la función reproductiva de *C. hippurus*³³.

3. CLASE AMPHIBIA

Los anfibios son uno de los grupos de animales más amenazados del mundo, estimando que más del 40 % de las especies están categorizadas en riesgo de extinción por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN)³⁶. Los anfibios son un componente muy importante de los ecosistemas acuáticos, principalmente en ambientes pequeños o cercanos a tierras productivas. En las etapas tempranas de la vida de los anfibios, los renacuajos exhiben una mayor sensibilidad junto con una extensa actividad alimentaria que los expone directamente a los MPs presentes en el ambiente acuático. En particular, los renacuajos tienen una excelente adaptabilidad al ambiente de laboratorio y una respuesta biológica temprana a los cambios en el ambiente, por lo cual son utilizados como organismo modelo en las investigaciones³⁷.

Los anfibios ingieren MPs principalmente a través de sus hábitos alimentarios oportunistas. A nivel mundial, numerosas investigaciones demostraron la ingesta y la acumulación de MPs en diferentes especies de anfibios, tales como *Bufo gargarizans*, *Microhyla ornata*, *Rana limnchari*, *Pelophylax nigromaculatus*, *Boana pulchella*, *Physalaemus cuvieri*, *Rhinella arenarum*^{38,39}. En Latinoamérica, el estudio de MPs en anfibios es incipiente³⁹. Sin embargo, el estudio de los efectos ecotoxicológicos y del riesgo para las poblaciones de anfibios que los MP generan es aún mucho más escaso. En Brasil, Pereira da Costa Araújo et al.⁴⁰⁻⁴¹ expusieron renacuajos de *P. cuvieri* a MPs de polietileno hallando cambios morfológicos, hepatotóxicos y efectos a distinto nivel de organización celular. Los autores demostraron que los renacuajos *P. cuvieri* consumieron MPs, los cuales se acumularon en el intestino generando disminución del índice de condición, alteraciones en la posición del intestino en la cavidad abdominal y aparición de regiones oscuras en el intestino como "pseudomelanosis". La acumulación de PEMP también fue hallada en branquias, hígado, músculo de la cola y sangre de estos renacuajos⁴⁰. En particular, la acumulación de MPs en hígado de renacuajos se correlacionó con cambios histopatológicos (tales como dilatación de vasos sanguíneos, infiltración, congestión, degeneración hidrópica, entre otros), los cuales muestran la histopatotoxicidad de estas partículas. Además, se observó el efecto citotóxico de MPs en hepatocitos de los renacuajos, modificando el tamaño de los núcleos, el volumen y la forma de las células⁴⁰. La reducción de las actividades de superóxido dismutasa y catalasa, y la disminución de la producción de ácido nítrico en células intestinales, sugieren que los MPs afectan el sistema antioxidante y el sistema inmunológico intestinal de renacuajos de *P. cuvieri*. Además, en estas investigaciones se observaron efectos mutagénicos y citotóxicos en eritrocitos de renacuajos expuestos a MPs, junto con cambios morfológicos externos y el incremento del número de melanóforos en la piel. La

acumulación de MPs y sus efectos sobre las actividades de enzimas metabólicas en renacuajos de *Scinax squalirostris* también fueron reportados por Attademo³⁸. Luego de 10 días de exposición, la actividad de la enzima carboxilesterasa fue significativamente mayor en renacuajos expuestos a PEMP respecto del control; mientras que la enzima fosfatasa alcalina disminuye su actividad en el tratamiento PEMP, mostrando que las partículas en el intestino pueden afectar el metabolismo.

Por otra parte, renacuajos *P. cuvieri* expuestos a PEMP durante 7 días⁴³ presentaron problemas de locomoción y cambios en su comportamiento natural, principalmente asociados al déficit de respuesta defensiva cuando estuvieron expuestos a depredadores.

Resultados similares a los mencionados fueron reportados en renacuajos expuestos por mayor tiempo a PEMP. Se puede mencionar el trabajo realizado con renacuajos de *Rhinella arenarum* provenientes del Río Paraná, Argentina, expuestos a PEMP por 30 días⁴⁴. Los autores hallaron efectos bioquímicos (inhibición de la actividad de acetilcolinesterasa), efectos hormonales (aumento de niveles de T4), daño en pared del intestino, y a nivel histológico en hígado (hepatotoxicidad)⁴⁴.

Considerando que los MPs pueden transportar plaguicidas por largas distancias en humedales o después de las aplicaciones de agroquímicos seguidas de lluvias, resulta importante evaluar si la exposición conjunta a MP y plaguicidas modifica la toxicidad de ambos grupos de contaminantes. En ese sentido, Lajmanovich y cols.⁴⁵ evaluaron los efectos de la exposición simultánea a dos herbicidas (glifosato y glufosinato de amonio) y su interacción con partículas de MPs de polietileno en renacuajos de *Scinax squalirostris* del Río Paraná, Santa Fé, Argentina. En general, los investigadores hallaron el aumento de la toxicidad y de alteraciones en parámetros bioquímicos (disminución de las actividades de las enzimas acetilcolinesterasa y de carboxilesterasa, y aumento de la actividad de glutatión-S-transferasa) en renacuajos de *S. squalirostris* expuestos a la mezcla de cada herbicida con PEMP. Estos resultados muestran la interacción entre PEMP y herbicidas ampliamente utilizados en los sistemas de producción de siembra directa, sugiriendo un riesgo ecotoxicológico para los renacuajos de anfibios de ambientes acuáticos en zonas agrícolas.

4. CLASE REPTILIA

Más del 50 % de las especies de tortugas se consideran amenazadas según la Lista Roja de la IUCN³⁶. Las principales amenazas directas o indirectas para las poblaciones de tortugas incluyen la degradación física y química de sus hábitats, la explotación comercial y la captura incidental

en artes de pesca⁴⁶. La ingestión de plástico constituye una amenaza ampliamente documentada en las siete especies existentes de tortugas marinas y en el 75 % de las especies de agua dulce, convirtiendo a estos desechos en una preocupación relevante pero subestimada para la conservación de estos animales⁴⁶. Los factores que incrementan el riesgo de ingestión de plásticos en tortugas incluyen: i) estrategias de alimentación visual que llevan a la selección de plásticos flotantes blandos con estructuras similares a sus presas (como medusas), y ii) papilas esofágicas orientadas hacia atrás que inhiben la regurgitación⁴⁷. Los efectos más comunes sobre la salud de las tortugas incluyen lesiones en el tracto digestivo, la exposición a sustancias químicas que se desprenden de los desechos plásticos y la dilución de la dieta que reducen el crecimiento somático o el rendimiento reproductivo⁴⁷. Sin embargo, estos efectos subletales son difíciles de estimar en estos animales longevos y altamente migratorios. En consecuencia, la mayoría de las investigaciones sobre ingestión de desechos plásticos en tortugas, se realizan en ejemplares muertos varados en las playas, sobre todo en especies en riesgo de extinción. Esta situación, genera una escasez de trabajos que evalúen los efectos que generan los plásticos en tortugas.

En Latinoamérica, se destacan varios trabajos sobre la ingesta de MPs en tortugas provenientes del Atlántico Sudoccidental en Brasil, y en el estuario del Río de la Plata y área cercana (Argentina y Uruguay). González Carman y cols.⁴⁸ estudiaron la ingesta de plásticos en juveniles de tortuga verde *Chelonia mydas* (n=62) provenientes del Río de La Plata, Argentina. El 90 % de los ejemplares estudiados presentaron residuos plásticos en la porción distal del intestino, en promedio 13 fragmentos por animal, predominando envoltorios, bolsas y trozos de plástico duro. Por otra parte, cabe mencionar una investigación sobre la ingestión de desechos plásticos en tortuga verde *C. mydas* que incluye la escala temporal desde 2005 a 2013⁴⁹. Los autores estudiaron 96 ejemplares varados en la región costera de Uruguay, cerca del estuario del Río de La Plata, donde el 70 % contenía residuos en el tracto digestivo, predominando los plásticos duros. Los autores hallaron una correlación negativa entre la presencia de desechos plásticos y el tamaño de las tortugas. Los juveniles tienen una alimentación epipelágica y realizan un cambio no abrupto hacia la alimentación herbívora bentónica. Es decir, la alimentación epipelágica sumado a la influencia de la descarga de desechos del estuario, indica que la etapa juvenil de esta especie es la más vulnerable⁴⁹. Además, algunos efectos reportados son los fecalomas y las obstrucciones intestinales junto con lesiones o perforaciones que provocan principalmente residuos puntiagudos de plástico duro, los cuales pueden provocar la muerte de las tortugas por abrasión de los intestinos⁴⁹. Resultados similares fueron reportados en la misma especie en ejemplares provenientes de la costa de

Brasil⁵⁰ y de las Islas Galápagos (Ecuador)⁵¹. En Brasil, la investigación muestra que la ingestión de una pequeña cantidad de desechos plásticos (0,5 g) fue suficiente para bloquear el tracto digestivo y causar la muerte de juveniles de tortuga verde (*C. mydas*)⁵⁰. Por su parte, Jones et al.⁵¹ destacan a los reptiles como la máxima prioridad para la investigación de los impactos de la contaminación plástica en Galápagos debido al riesgo en la que se encuentran las especies, particularmente las tortugas verdes (*C. mydas*) y carey (*Eretmochelys imbricata*).

5. CLASE AVES

Las aves acuáticas se pueden dividir en tres grandes grupos, por un lado, aves marinas pelágicas, como las representantes del Orden Procellariiformes (albatros, petreles, pardelas y paíños) que se distribuyen en todos los océanos del mundo y pueden explorar diversos hábitats y utilizar diferentes tácticas de búsqueda y captura de alimento. Por otro lado, se encuentran las aves costeras, especies representantes del Orden Sphenisciformes (pingüinos), de pequeño porte que se distribuyen en las costas de Sudamérica, que utilizan el buceo como táctica de búsqueda y captura de alimento⁵².

En la última década el número de publicaciones científicas sobre la interacción de los plásticos con las aves marinas se ha incrementado notoriamente, e indican que hay más de 200 especies afectadas en el mundo. Menos del 10 % de estas publicaciones corresponden a estudios realizados en el Atlántico Sudoccidental, principalmente en Procellariiformes (grupo de los albatros y petreles)⁵³⁻⁵⁸. Estas aves son en particular muy susceptibles a la ingesta de plásticos, debido a que se alimentan principalmente sobre la superficie del agua, donde los plásticos tienden a flotar y acumularse. Estudios recientes también indican que el "biofilm" que se forma en los plásticos produce una firma olfativa que se asemeja a la del alimento natural de estas aves, lo que también puede explicar la alta frecuencia de ingesta de plásticos de este grupo.

Por el contrario, los estudios sobre ingesta de plásticos en aves marinas buceadoras como los pingüinos son escasos⁵⁹. En estos, la ingesta de MPs suele ser indirecta mediante transferencia desde sus presas⁵⁹⁻⁶¹. En la región, un incremento reciente de estudios demuestra la presencia de MPs en el tracto gastrointestinal de pingüinos juveniles durante la invernada en Brasil y/o Argentina^{57,62-64}, como así también por adultos reproductores, juveniles y pichones en la Patagonia (Argentina)⁶⁵. Otros estudios registraron MPs en fecas de la misma especie durante la reproducción⁶⁶. Asimismo, se registró la presencia de MPs en Otras especies de aves marinas y costeras como gaviotas (*Larus dominicanus*), gaviotines (*Sterna hirundo*, *Thalasseus acutiflavus*),

ostreros (*Haematopus palliatus*), garzas (*Ardea alba*) y piqueros (*Sula leucogaster*)⁶⁷⁻⁶⁹. A pesar de estos hallazgos, los estudios sobre los efectos de la ingesta de plásticos en aves marinas de la región son insuficientes. Los trabajos de Pereira Serafini y cols.⁷⁰ y Vanstreels y cols.⁷¹ realizados mayormente en Procellariiformes mencionan la detección de aditivos de plásticos (ftalatos) en la glándula uropígea. Recientemente, Pereira Serafini y cols.⁷⁰, encontraron asociaciones entre los niveles de transcripción de los genes AhR y UGT1 (marcadores de biotransformación xenobiótica) y la presencia de plástico en estómago de una especie de pardela (*Puffinus puffinus*) con migración trans-hemisférica y ecuatorial. efectos subletales petrel gigante del sur, se evaluaron parámetros bioquímicos hematológicos y biomarcadores de toxicidad en relación a la ingesta de plásticos en pichones. En cuanto a información de especies las cuales su distribución alcanza latinoamérica, el trabajo de Fackelmann²², realizado en Australia, se puede considerar ya que menciona efectos en la Pardela cenicienta (*Calonectris borealis*) la cual llega a la costa norte de Argentina durante su migración hacia el Atlántico Sur que va desde noviembre a abril. En este trabajo se encontró que los MPs se asociaron con disminuciones en la microbiota comensal y aumentos en patógenos (zoonóticos) y microbios que degradan el plástico, los cuales son resistentes a los antibióticos.

La incidencia de la ingesta de plástico por parte de aves marinas está fuertemente influenciada por la superposición de las áreas de alimentación con regiones oceánicas contaminadas con desechos marinos^{72,73}, como los giros subtropicales y el límite sur de los océanos Atlántico, Pacífico e Índico. Además, la exposición de las aves marinas a los plásticos (procedentes de actividades terrestres o pesqueras), puede variar entre clases de edad, sexo y época del año, como se propuso recientemente para el petrel gigante del Sur (*Macronectes giganteus*) en la plataforma continental argentina⁷⁴.

En cuanto a las aves dulceacuícolas, son aquellas que dependen principalmente de hábitats de agua dulce, como lagos, ríos, pantanos y estanques, para su alimentación, reproducción y otras actividades vitales. Estas pueden dividirse en Anseriformes (ej. patos, gansos y cisnes), Podicipediformes (ej. somormujos y zampullines), Charadriiformes (ej. chorlitos y zarapitos) y Pelecaniformes (ej. garzas y cormoranes). En la región son pocos los trabajos que abordan los efectos específicos de los MPs y NPs en aves dulceacuícolas, aun así se han llevado a cabo estudios que evalúan la presencia de partículas plásticas en organismos, como es el caso de *Ardea alba*, conocida comúnmente como Garza blanca. Este estudio ha evidenciado la capacidad de *Ardea alba* para bioacumular partículas plásticas en sus tejidos, generando inquietud sobre la posible transferencia de contaminantes a lo largo de la cadena alimentaria.

6. CLASE MAMMALIA

Al igual que numerosas especies, los mamíferos marinos también son impactados por la ingesta de desechos plásticos, sobre todo aquellos que habitan y/o se alimentan en la zona costera⁷⁵. En el Océano Atlántico Sudoccidental, se encuentran dos especies vulnerables de delfines costeros, la franciscana *Pontoporia blainvillei* y la tonina *Sotalia guianensis*. Di Benedetto y Arruda Ramos⁷⁵ evaluaron la ingesta de desechos plásticos en estómagos de ambas especies. El 15 % de los estómagos de franciscana presentaron residuos, mientras que en tonina sólo fue el 1,3 %, resultados asociados a diferencias en hábitos tróficos. La franciscana posee una dieta bentónica, lo cual incrementa la posibilidad de ingerir plásticos presentes en los fondos costeros. La caracterización de residuos plásticos en el tracto digestivo de delfines costeros también se realizó en la especie *Sotalia guianensis* en la costa de Ceará, noreste de Brasil⁷⁶. Los autores reportan el predominio de MPs de material poliéster en el contenido estomacal del delfín de Guayana, hallando una correlación positiva entre la cantidad de MPs y la masa del contenido del estómago, sugiriendo una contaminación a través de transferencia trófica⁷⁶. Santillán y cols.⁷⁷ reportó el primer registro de MPs en heces de la nutria marina *Lontra felina* mostrando la transferencia trófica de estos residuos hasta predadores tope. Moreira-Mendieta y cols.⁷⁸ informó la contaminación por MPs en heces del lobo marino de Galápagos (*Zalophus wollebaeki*) de la Reserva Marina de Galápagos. Los autores describen la presencia de varios polímeros en las partículas, principalmente polipropileno-polietileno, polipropileno, celulosa, polietileno y cloruro de polivinilo, sugiriendo que las industrias textiles, pesqueras y de embalaje sean fuentes importantes de microfibras en este ecosistema insular. Por otra parte, Alzugaray y cols.⁷⁹ describen el hallazgo de desechos de macroplásticos (25 mm-1 m) en el tracto digestivo de un macho juvenil de ballena franca austral (*Eubalaena australis*) varado en las costas del Golfo Nuevo, Chubut, Argentina en 2014. De manera similar a la situación mencionada para tortugas, las investigaciones sobre ingestión de residuos plásticos en mamíferos marinos se realizan con ejemplares que aparecen varados en las playas. En consecuencia, el estudio de los efectos de los MP es difícil de abordar ya que son animales longevos, que migran o realizan grandes desplazamientos y que algunas especies tienen un grado especial de protección. Sin embargo, estos efectos no deben ser subestimados ya que pueden generar daños agudos en el tracto digestivo y efectos a largo plazo debido a la acumulación de otros compuestos químicos junto con los MPs.

CONCLUSIONES

El crecimiento continuo de la producción y la expansión de nuevos mercados que demandan plásticos contribuyen al aumento constante de la presencia

de este material en el entorno. A pesar de los efectos perjudiciales de estos contaminantes en el medio ambiente y los organismos, las investigaciones sobre sus efectos ecotoxicológicos, especialmente en América Latina y el Caribe, son escasas, especialmente en cuerpos de agua dulce. Según los datos recopilados, los polímeros de poliestireno y polietileno se han utilizado para evaluar la respuesta de los organismos a la exposición, junto con otros polímeros que representan un riesgo similar para la vida acuática, como polipropileno, polimetacrilato y poliuretano. La capacidad de estos plásticos para actuar como vectores de otros contaminantes, como cobre, PCBs, plaguicidas organoclorados y PAHs, ha sido evaluada en varios estudios. La toxicidad de estos compuestos ha mostrado variaciones según la concentración de MPs y NPs aplicada, y su relación con el tipo de contaminante asociado. Los efectos más comunes observados en los organismos de la región incluyen alteraciones inmunológicas, cambios en la ingesta de alimentos y anomalías reproductivas. La acumulación y retención de MPs y NPs en organismos acuáticos plantean una amenaza para la integridad de los ecosistemas debido a su potencial transferencia a través de la red alimentaria. La rica biodiversidad de los cuerpos de agua, tanto de agua dulce como marina, en América Latina y el Caribe los convierte en componentes esenciales para el mantenimiento continuo de los ecosistemas y las comunidades locales. Por lo tanto, comprender los efectos de estos contaminantes en la biota es crucial para implementar medidas necesarias para su conservación y promover la sostenibilidad ambiental en la región. En este contexto, la investigación sobre los MPs no solo se erige como una respuesta local a desafíos específicos, sino que también se alinea de manera congruente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) a nivel global, específicamente las metas vinculadas al Objetivo 14, referente a la vida submarina. En el contexto de América Latina y el Caribe, intensificar la investigación sobre los efectos de MPs y NPs emerge como un imperativo estratégico. Este enfoque no solo aborda las problemáticas ambientales inmediatas, sino que también constituye una valiosa contribución al desarrollo sostenible regional. Al profundizar en la comprensión de los impactos de la contaminación plástica, se establece una base científica sólida para la formulación de estrategias de mitigación y adaptación, preservando así la integridad de los ecosistemas acuáticos y promoviendo la salud a largo plazo de las comunidades.

BIBLIOGRAFÍA

1. World Economic Forum. 2019. Plastic is a global problem. It's also a global opportunity. Disponible en: <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/plastic-might-just-be-the-solution-to-its-own-problem/> 20/11/2023.
2. Lambert S, Sinclair CJ, Boxall ABA. Occurrence, degradation and effects of polymer-based materials in the environment. Rev. Environ. Contam. Toxicol. 2014; 227:1-53.

3. Lassen C, Hansen SF, Magnusson K, Nore ´n F, Hartmann NB, Jensen PR et al. Microplastics: occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen K, environmental project no. 1793, 2015.
4. Costa MF, Ivar do Sul JA, Silva-Cavalcanti JS, Araújo MCB, Spengler A, Tourinho PS. On the importance of size of plastic fragments and pellets on the strandline: a snapshot of a Brazilian beach. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2010, 168, 299–304.
5. Ivar do Sul JA, Costa MF. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental Pollution* 185. 2013, 352-64.
6. Derraik JGB. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*. 2002, 44(9):842–52.
7. Wagner M, Lambert S. Freshwater Microplastics, Emerging Environmental Contaminants? Springer Open. Volume 58, 2018.
8. Colton JB, Knapp F, Burns B. Plastic Particles in Surface Waters of the Northwestern Atlantic. *Science (New York, N.Y.)*. 1974, 185. 491-7.
9. Carpenter E, Anderson S, Harvey G, Miklas H, Peck B. Polystyrene Spherules in Coastal Waters. *Science (New York, N.Y.)*. 1972, 178. 749-50.
10. Gregory, MR. Plastic pellets on New Zealand beaches. *Marine Pollution Bulletin*. 1977, 8(4), 82–4.
11. Putnam A, Hammer C, VanBrocklin H, Buksa B, Clune A. 2017. Microplastic Biomagnification in Invertebrates, Fish, and Cormorants in Lake Champlain. Faculty Mentor: Danielle Garneau, Ph.D. Center for Earth and Environmental Science. SUNY Plattsburgh, Plattsburgh, NY 12901
12. Saikumar S, Mani R, Ganesan M, Dhinakaranamy I, Palanisami T, Gopal D. Trophic transfer and their impact of microplastics on estuarine food chain model. *Journal of Hazardous Materials*. 2024, 464, 132927.
13. Nelms SE, Galloway TS, Godley BJ, Jarvis DS, Lindeque PK. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environ. Pollut*. 2018; 238:999-1007.
14. Senko JF, Nelms SE, Reavis JL, Witherington B, Godley BJ, Wallace BP. Understanding individual and population-level effects of plastic pollution on marine megafauna. *Endanger Sp Res*. 2020; 43:234-52.
15. Azevedo-Santos MV, Gonçalves GRL, Manoel PS, Andrade MC, Lima FP, Pelicice FM. Plastic ingestion by fish: A global assessment. *Environ. Pollut*. 2019; 255(112994).
16. Rist S, Bloch Hartmann N. Aquatic Ecotoxicity of Microplastics and Nanoplastics: Lessons Learned from Engineered Nanomaterials. *Freshwater Microplastics, Emerging Environmental Contaminants? Springer Open*. 2018. Volume 58.
17. Silva-Cavalcanti JS, Silva JDB, França EJ, Araújo MCB, Gusmão F. Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource. *Environ. Pollut*. 2017; 221:218-26.
18. Teuten EL, Saquing JM, Knappe DRU, Barlaz MA, Jonsson S, Björn A et al. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philos. Trans. R. Soc.* 2009; 364: 2027–45.
19. Tanaka K, Takada H, Yamashita R, Mizukawa K, Fukuwaka MA, Watanuki Y. Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Mar. Pollut. Bull*. 2013; 69(1-2):219-222.
20. Tanaka K, Takada H, Yamashita R, Mizukawa K, Fukuwaka MA, Watanuki Y. Facilitated leaching of additive-derived PBDEs from plastic by seabirds' stomach oil and accumulation in tissues. *Environ. Sci. Technol*. 2015; 49(19):11799-807.
21. Rochman CM. The Role of Plastic Debris as Another Source of Hazardous Chemicals in Lower-Trophic Level Organisms. En: Takada H, Karapanagioti HK, editors. *Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environment. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 78. Springer, Cham; 2016.
22. Fackelmann G, Pham CK, Rodríguez Y, Mallory ML, Provencher JF, Baak JE, Sommer S. Current levels of microplastic pollution impact wild seabird gut microbiomes. *Nat Ecol Evol*. 2023;7(5):698-706.
23. Cannon SME, Lavers JL, Figueireda B. Plastic ingestion by fish in the Southern Hemisphere: a baseline study and review of methods. *Mar. Pollut. Bull*. 2016; 107:286-91.
24. Pazos RS, Maiztegui T, Colautti DC, Paracampo AH, Gómez N. Microplastics in gut contents of coastal freshwater fish from Río de la Plata estuary. *Mar. Pollut Bull*. 2017; 122(1-2):85-90.
25. Domínguez L, Grisell J. Microplástico en el tracto digestivo de *Scomber japonicus*, *Opisthonema libertate* y *Auxis thazard*, comercializados en el puerto pesquero de Santa Rosa, provincia de Santa Elena-Ecuador. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2020.
26. Malba Geane RM, Da Luz Silva GM, Da Silva KP, Rodrigues Ferreira ER, Moron SE, Marcelo Gustavo Paulino. Efeitos de diferentes tamanhos de microplásticos de polietileno em tambatinga (*Colossoma macropomum* X *Piaractus brachypomus*) após exposição aguda na dieta. XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA. 2021
27. Macías Tumbaco NN. Presencia de microplásticos en peces pelágicos pequeños, *Auxis thazard* y *Scomber japonicus*, en el puerto pesquero de la ciudad de Manta, provincia de Manabí-Ecuador. La Libertad. UPSE, Matriz. Facultad de Ciencias del Mar. 2022. 70p.
28. Arias AH, Ronda AC, Oliva AL, Marcovecchio JE. Evidence of microplastic ingestion by fish from the Bahía Blanca estuary in Argentina, South America. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*. 2019; 750–6.
29. Siwen Zheng, Ben Zhong Tang, Wen-Xiong Wang. Microplastics and nanoplastics induced differential respiratory damages in tilapia fish *Oreochromis niloticus*, *J Haz Mat.*, 2024, 133181.
30. Jiannan Ding, Shanshan Zhang, Roger Mamitiana Razanajatovo, Hua Zou, Wenbin Zhu. Accumulation, tissue distribution, and biochemical effects of polystyrene microplastics in the freshwater fish red tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Environmental Pollution*, Volume 238, 2018, Pages 1-9, ISSN 0269-7491.
31. Evans Seeley M, Hale RC, Zwollo P, Vogelbein W, Verry G, Andrew R. Wargo. Microplastics exacerbate virus-mediated mortality in fish, *Sci Total Environ*, 2023, 161191.

32. de Campos JM, Traldi Wintruff LT, Rodrigues de Souza-Bastos L, Dal Pont G, Garrett Dolatto R, Castilho Westphal GG et al. Osmoregulatory responses in the neotropical fish species *Astyanax lacustris*, exposed to single and combined microplastics, polycyclic aromatic hydrocarbons, and their mixture, *Aquatic Toxicol.* 2023, 106693.
33. Weiwen Li, Zhong Pan, Jing Xu, Qianlong Liu, Qingping Zou, Hui Lin, Lijun Wu, Hao Huang. Microplastics in a pelagic dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) from the Eastern Pacific Ocean and the implications for fish health, *Sci Total Environ.* 2022, 151126.
34. Do Carmo da Silva D, Martins MGR, Cardoso Maciel A, Rodrigues Ferreira ER, Paulino MG. Efeito agudo de microesferas de polietileno em brânquias de tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brackypomus*): estudo do potencial de acumulação e indução de alterações morfofisiológicas. XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA. 2021.
35. Do Carmo Da Silva D, Martins MGR, Cardoso Maciel A, Da Luz Silva GM, Rodrigues Ferreira ER, Moron SE et al. Análise histopatológica em brânquias de peixes tambatinga (*Colossoma macropomum* X *Piaractus brackypomus*) expostos a diferentes concentrações de microplástico. XVI Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia. 2021.
36. International Union for Conservation of Nature. Lista roja de especies amenazadas. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org/es>. Acceso 18/11/2023.
37. Hu L, Chernick M, Hinton D, Shi H. Microplastics in small waterbodies and tadpoles from Yangtze river Delta, China. *Environ. Sci. Technol.* 2018; 52(15):8885–93.
38. Attademo A, Cuzziol Boccioni A, Peltzer P, Franco V, Simoniello M, Passeggi M, Lajmanovich R. Effect of microplastics on the activity of carboxylesterase and phosphatase enzymes in *Scinax squaleirostris* tadpoles. *Environ. Monit. Assess.* 2022; 194:718.
39. Grillo J, Guerrero Rebolledo A, Sabino M, Ramos R. Microplastics in Latin America and the Caribbean: On the adoption of reporting standards and quality assurance and quality control protocols. *Environ. Adv.* 2022; 8:100236.
40. Pereira da Costa Araújo A, Ferreira Silva de Melo N, Gonçalves de Oliveira Junior A, Postalli Rodrigues F, Fernandes T, de Andrade Vieira J, Lopes Rocha T, Malafaia G. How much are microplastics harmful to the health of amphibians? A study with pristine polyethylene microplastics and *Physalaemus cuvieri*. *J Hazard Mater.* 2020; 382:121066.
41. Pereira da Costa Araújo A, Rodrigues Gomes A, Malafaia G. Hepatotoxicity of pristine polyethylene microplastics in neotropical *physalaemus cuvieri* tadpoles (Fitzinger, 1826), *Journal of Hazardous Materials*, Volume 386, 2020, 121992, ISSN 0304-3894
42. Pereira da Costa Araújo A, Marinho da Luz T, de Oliveira Gonçalves S, Rajakrishnan Rajagopal Md, Rahman M, de Melo e Silva D, Malafaia G. How can “my shoes” affect the amphibian health? A study of the toxicity of microplastics from shoe sole (Polyvinyl chloride acetate) on *Physalaemus cuvieri* tadpoles (Anura, Leptodactylidae), *Journal of Hazardous Materials*, Volume 440, 2022, 129847, ISSN 0304-3894.
43. da Costa Araújo AP, Malafaia G. Can short exposure to polyethylene microplastics change tadpoles’ behavior? A study conducted with neotropical tadpole species belonging to order anura (*Physalaemus cuvieri*), *Journal of Hazardous Materials*, Volume 391, 2020, 122214, ISSN 0304-3894.
44. Attademo A, Curi L, Cuzziol Boccioni A, Barrios C, Peltzer P, Simoniello MF et al. Microplastics and plastic additives as contaminants of emerging concern: A multi-biomarker approach using *Rhinella arenarum* tadpoles. *Environ. Adv.* 2023; 14:100444.
45. Lajmanovich R, Attademo A, Lener G, Cuzziol Boccioni A, Peltzer P, Martinuzzi C, Demonte L, Repetti M. Glyphosate and glufosinate ammonium, herbicides commonly used on genetically modified crops, and their interaction with microplastics: Ecotoxicity in anuran tadpoles. *Sci. Total Environ.* 2022; 804:150177.
46. Clause A, Celestian A, Pauly G. Plastic ingestion by freshwater turtles: a review and call to action. *Sci. Rep.* 2021;11: 5672.
47. Caron A, Thomas C, Berrya K, Mottia C, Ariel E, Brodie J. Ingestion of microplastic debris by green sea turtles (*Chelonia mydas*) in the Great Barrier Reef: Validation of a sequential extraction protocol. *Mar. Poll. Bull.* 2018; 127:743–51.
48. González Carman V, Acha M, Maxwell S, Albareda D, Campagna C, Mianzan H. Young green turtles, *Chelonia mydas*, exposed to plastic in a frontal area of the SW Atlantic. *Mar. Poll. Bull.* 2014; 78:56–62.
49. Vélez-Rubio G, Teryda N, Asaroff P, Estrades A, Rodriguez D, Tomás J. Differential impact of marine debris ingestion during ontogenetic dietary shift of green turtles in Uruguayan waters. *Mar. Poll Bull.* 2018; 127:603-11.
50. Santos R, Andrades R, Boldrini M, Silva Martins A. Debris ingestion by juvenile marine turtles: An underestimated problem. *Mar. Poll. Bull.* 2015; 93:37-43.
51. Jones J, Portera A, Muñoz-Pérez JP, Alarcón-Ruales D, Galloway T, Godley B et al. Plastic contamination of a Galapagos Island (Ecuador) and the relative risks to native marine species. *Sci Total Environ.* 2021; 789:147704.
52. Boersma PD, García Borboroblu P, Frere E, Godoy Reyes C, Kane O, Pozzi LM et al. Pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*). In: Boersma PD, García Borboroglu P, editors. *Pingüinos: Historia Natural y Conservación*. Buenos Aires: Vazquez Mazzini Editores; 2015. p. 253–85.
53. Copello S, Quintana F. Marine debris ingestion by southern giant petrels and its potential relationships with fisheries in the Southern Atlantic Ocean. *Mar. Poll. Bull.* 2003;46: 1513–5.
54. Barbieri E. Occurrence of plastic particles in procellariiforms, south of São Paulo state (Brazil). *Braz. Arch. Biol. Technol.* 2009; 52:341–8.
55. Colabuono FI, Barquete V, Domingues BS, Montone RC. Plastic ingestion by Procellariiformes in southern Brazil. *Mar. Poll. Bull.* 2009; 58:93–6.
56. Petry MV, Benemann VR. Ingestion of marine debris by the White-chinned Petrel (*Procellaria aequinoctialis*): Is it increasing over time off southern Brazil? *Mar. Pollut. Bull.* 2017; 117:131–5.
57. Tourinho PS, do Sul JAI, Fillmann G. Is marine debris ingestion still a problem for the coastal marine biota of southern Brazil? *Mar. Poll. Bull.* 2010; 60:396–401.
58. Gallo L, Pereira Serafini P, Vanstreels RET, Tamini L, Kolesnikovas C, Pereira A, Neves T, Nascimento G, Gerez A, Chavez N, DellaCasa R, Uhart M. Plastic ingestion in albatrosses and petrels off the shores of Argentina and Brazil. III World Seabird Conference, Virtual Conference; 2021.

59. Le Guen C, Suaria G, Sherley RB, Ryan PG, Aliani S, Boehme L, Brierley AS. Microplastic study reveals the presence of natural and synthetic fibres in the diet of king penguins (*Aptenodytes patagonicus*) foraging from South Georgia. *Environ. Int.* 2020; 134:105303.
60. Bessa F, Ratcliffe N, Otero V, Sobral P, Marques JC, Waluda CM, Trathan PN, Xavier JC. Microplastics in gentoo penguins from the Antarctic region. *Sci. Rep.* 2019; 9:14191.
61. Fragão J, Bessa F, Otero V, Barbosa A, Sobral P, Waluda CM, Guimarães HM, Xavier JC. Microplastics and other anthropogenic particles in Antarctica: using penguins as biological samplers. *Sci Total Environ.* 2021;788: 147698.
62. Pinto MBL, Siciliano S, Di Benedetto APM. Stomach contents of the Magellanic penguin (*Spheniscus magellanicus*) from the northern distribution limit on the Atlantic coast of Brazil. *Mar. Ornithol.* 2007; 77–8.
63. Recabarren-Villalón T, Ronda AC, La Sala L, Sanhueza C, Díaz L, Rodríguez Pirani LS, Picone AL, Romano RM, Petracchi P, Arias AH. First assessment of debris pollution in the gastrointestinal content of juvenile Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) stranded on the west south Atlantic coasts. *Mar. Poll. Bull.* 2023; 188:114628.
64. Seco Pon JP, Álvarez VA, Nicolini AT, Rosenthal AF, García GO. Ingestion of marine debris by juvenile Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) in wintering grounds of coastal Argentina. *Mar. Poll. Bull.* 2023; 193:115247.
65. Gallo L, Arias A, Vanstreels RET, Recabarren-Villalón T, Rodríguez Pirani L, Picone LA, Romano RM, et al. 2023. Plastic ingestion by Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) throughout their annual cycle. 11th International Penguin Congress, Viña del Mar, Chile.
66. Walker B, Rodrigues G, Ormsbee J, D'Amico V, Bertelotti M, O'Brien S. Examination of the presence of microplastics in wild Magellanic penguins from Punta Tombo, Argentina via fecal analysis. 11th Int. Penguin Congress, Viña del Mar, Chile. 2023.
67. Lenzi J, Burgues MF, Carrizo D, Machín E, Teixeira-de Mello F. Plastic ingestion by a generalist seabird on the coast of Uruguay. *Mar. Poll. Bull.* 2016; 107(1):71-6.
68. Yorio P, Marinao C, Kasinsky T, Ibarra C, Suárez N. Patterns of plastic ingestion in Kelp Gull (*Larus dominicanus*) populations breeding in northern Patagonia, Argentina. *Mar. Poll. Bull.* 2020; 156:111240.
69. Daudt NW, Bugoni L, Nunes GT. Plastics and waterbirds in Brazil: A review of ingestion, nest materials and entanglement reveals substantial knowledge gaps and opportunities for research. *Environ Poll.* 2023; 316:120615.
70. Pereira Serafini P, Bugoni L, Piccinin I, Nascimento GD, Pereira A, Maraschin M, et al. Can sub-lethal effects of plastic ingestion be assessed by phthalates concentration and molecular biomarkers in stranded Manx shearwaters, *Puffinus puffinus*?. SETAC Europe 33rd Annual Meeting, Dublin, Ireland. 2023.
71. Vanstreels RET, Piccinin I, Maraschin M, Gallo L, Serafini PP, Pereira A, Santos AP, Egert L, Uhart M. Phthalate esters (plasticizers) in the uropygial gland and their relationship to plastic ingestion in seabirds along the coast of Espírito Santo, Eastern Brazil. *J. Zoo Wildl. Med.* 2023; 53(4):733-43.
72. Roman L, Bell E, Wilcox C, Hardesty BD, Hindell M. Ecological drivers of marine debris ingestion in Procellariiform Seabirds. *Sci. Rep.* 2019; 9:1–8.
73. Clark BL, Carneiro APB, Pearmain EJ et al. Global assessment of marine plastic exposure risk for oceanic birds. *Nat. Commun.* 2023; 14:3665.
74. Blanco GS, Tonini MH, Gallo L, Dell'Omo G, Quintana F. Tracking the exposure of a pelagic seabird to marine plastic pollution. *Mar. Poll. Bull.* 2022; 180:113767.
75. Di Benedetto AM, Arruda Ramos R. Marine debris ingestion by coastal dolphins: What drives differences between sympatric species? *Mar Poll Bull.* 2014; 83:298–301.
76. Pereira LG, Ferreira GV, Justino AK, de Oliveira KMT, de Queiroz MT, Schmidt N, Lucena-Frédou F. Exploring microplastic contamination in Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*): Insights into plastic pollution in the southwestern tropical Atlantic. *Mar. Poll. Bull.* 2023; 194:115407.
77. Santillán L, Saldaña-Serrano M, De-La-Torre GE. First record of microplastics in the endangered marine otter (*Lontra felina*). *Mastozoología Neotropical.* 2020;27(1):211-5.
78. Moreira-Mendieta A, García-Garin O, Muñoz-Pérez JP, Urquía DO, Drago M, Borrell A, Páez-Rosas D. Detection and quantification of microplastic pollution in the endangered Galapagos sea lion. *Sci. Tot. Environ.* 2023; 896:166223.
79. Alzugaray L, Di Martino M, Beltramino L, Rowntree VJ, Sironi M, Uhart MM. Anthropogenic debris in the digestive tract of a southern right whale (*Eubalaena australis*) stranded in Golfo Nuevo, Argentina. *Mar. Poll. Bull.* 2020; 161:111738.