



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA CONSERVACIÓN
DE LA NATURALEZA

PROGRAMA INTERFACULTADES

MAGÍSTER EN GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN AMBIENTAL

MICROPLASTICOS EN AGUAS RESIDUALES Y POSIBLES MEDIDAS DE CONTROL EN EL GRAN SANTIAGO

Tesis para optar al grado de
Magíster en Gestión y
Planificación Ambiental

Camila Alejandra Higuera Ulloa

Profesor Guía Dr. Carlos Manzano

Santiago, Chile

2022



UNIVERSIDAD DE CHILE
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**
PROGRAMA INTERFACULTADES
MAGÍSTER EN GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN AMBIENTAL

Tesis para optar al grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental.

Profesor Guía: Dr. Carlos Manzano

Nota:

Firma: _____

Profesora Consejera: Dr. Karla Yohannessen Vásquez

Nota:

Firma: _____

Profesora Consejera: Dr. Pilar Andrea Barría

Nota:

Firma: _____

Tabla de contenido

Introducción	6
Objetivos	9
Objetivo general:	9
Objetivos específicos:	9
Marco Teórico	10
Plásticos.....	10
Microplásticos	13
Microplásticos primarios.....	14
Microplásticos Secundarios.....	14
Fibras plásticas	15
Microplásticos en el medio ambiente.....	15
Gestión de Agua en Santiago.....	16
Cuenca del Río Maipo	22
Normativa Nacional.....	24
Metodología	27
Resultados	33
Identificar fuentes de generación de microplásticos (primarios) en el Gran Santiago y determinar posibles efectos que podrían ocasionar en la cuenca baja del Maipo	33
Analizar normativa ambiental nacional e internacional aplicable a microplásticos.	70
Propuestas de medidas de control ante la presencia de microplásticos en los cuerpos de agua para el Gran Santiago.	83
Discusión	98
Conclusión	103
Bibliografía.....	106

Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación de los tipos de plásticos.....	11
Tabla 2 Combinación de búsqueda con operadores booleanos.....	28
Tabla 3 Combinación de operadores booleanos utilizados por cada base de datos	29
Tabla 4 Criterios de inclusión y exclusión.....	30
Tabla 5 Resultados de artículos en rayyan y seleccionados	33
Tabla 7 posibles efectos provocados en la salud humana por los metales pesados en su papel de aditivo, detallando en tipo de polímero en los que están presente	58
Tabla 8 Resumen de los efectos en los animales marinos de los microplásticos dimensión de 20 nm a 2,4mm	61
Tabla 9 Resumen de los efectos en los animales terrestres de los microplásticos dimensión de 20 nm a 2,4mm	62
Tabla 10 Resumen de los efectos en modelos de células humanas, diferenciados por modelos de células humanas y propiedades de los MP/NP	67
Tabla 11 Tasa de eliminación según el nivel de tratamiento de las Plantas de Tratamientos de Aguas Servidas	84
Tabla 12 Ventajas y desventajas según la tecnología utilizada para la remoción de microplásticos.....	86

Índice de figuras

Figura 2 Hidrografía, secciones legales y usuarios presentes en la cuenca del rio Maipo	24
Figura 3 Página de inicio, visualización análisis en Rayyan.	31
Fuente: Rayyan.....	31
Figura 4 País de origen de los artículos científicos analizados.....	44
Figura 5 Cantidad de artículos por fuente de generación de microplástico.	46
Figura 6 Agrupación de artículos por fuente de generación de microplásticos	47
Figura 7 Primer tramo de la cuenca baja del Maipo, detallando el uso de agua del sector	52
Figura 8 Segundo tramo de la cuenca baja del Maipo, detallando el uso de agua del sector	53
Figura 9 Fases de una ACV según la norma ISO 14040.	93

Resumen

Existe una gran preocupación por la presencia de microplásticos en el medioambiente. Hay estudios científicos donde se evidencia su existencia, incluso en ambientes inhóspitos. Sin embargo, aún no se logra una base robusta de conocimientos para determinar el real impacto que la presencia de microplásticos puede ejercer sobre los ecosistemas. Se desconoce, por ejemplo, cuál es el factor que provocaría dicho impacto, ya sea tamaño y/o composición.

En esta investigación se busca primeramente profundizar y dar a conocer los posibles riesgos asociados a los microplásticos, según lo reportado en la literatura científica de los últimos años. Además, se plantea una crítica hacia los métodos de muestreo y obtención de datos reportados. Aterrizando el problema a la realidad local, se identifican las posibles fuentes generadoras de microplásticos en el Gran Santiago, y junto con analizar ejemplos de legislación internacional aplicables a estas materia, se busca proponer medidas de control para evitar los impactos potenciales de microplásticos en la salud humana y los ecosistemas del Gran Santiago.

Introducción

La producción de plásticos a nivel mundial ha tenido un gran crecimiento en las últimas décadas. De una producción anual de 2 millones de toneladas a principios de la década de 1950 ha aumentado a casi 400 millones de toneladas en 2015 (Geyer et al., 2017). Teniendo en consideración que se trata de un material barato, duradero y versátil que se puede moldear en formas o películas y en filamentos, el plástico tiene varias aplicaciones domésticas e industriales. El estimado de 8300 millones de toneladas de plástico virgen que han sido fabricados desde 1950 hasta 2015 han generado alrededor de 6300 millones de toneladas de residuos plásticos a nivel mundial, los que se encuentran en vertederos, ambientes marinos o agua dulce, y ambientes terrestres. Se proyecta que las tendencias actuales de producción resulten en alrededor de 12 mil millones de toneladas de residuos plásticos en vertederos o en ambientes naturales para el 2050 (Henry et al., 2019).

Los residuos plásticos se concentran principalmente en vertederos y basura visible en las costas y océanos, siendo una preocupación a nivel mundial, particularmente por la salud del medio marino. Sin embargo, las piezas visibles de plástico representan solo una pequeña fracción, alrededor del 6% de la masa total de plástico encontrado en los océanos siendo el mayor problema las partículas de plástico y fibras de tamaño pequeño, comúnmente conocido como microplásticos. En este contexto se consideran

los microplásticos como partículas de plástico en su dimensión más pequeña y fibras que tendrán un diámetro menor a los 5 mm. (Henry et al., 2019).

La importancia de los microplásticos radica en que pueden ser ingeridos por una amplia gama de especies, tanto en el mar como en los ambientes de agua dulce. Se han realizado estudios donde se investiga el potencial daño físico a la biota a partir de su ingestión, que también podría facilitar la transferencia de productos químicos a los organismos que los consumen (Napper & Thompson, 2016). Dentro de los microplásticos hay una subcategoría donde se encuentran los microplásticos primarios (los que son emitidos con ese tamaño) y los secundarios (que llegan a ese tamaño después de sufrir cambios físicos en la naturaleza). Los microplásticos primarios provienen principalmente de textiles, medicamentos, y productos de cuidado personal tales como exfoliaciones faciales y corporales (Cole et al., 2011). Con estos antecedentes, surgen cuestionamientos sobre lo que podría estar ocurriendo con las aguas residuales del Gran Santiago, ya que estas aguas son las principales receptoras del lavado de nuestra ropa (textiles) y contienen productos de cuidado personal, tales como exfoliaciones faciales y corporales. Además, en este territorio hay un poco más de 5 millones de personas, donde los elementos mencionados anteriormente son de uso diario.

Esta investigación se enfocará en la presencia de microplásticos primarios en el Gran Santiago. Se utilizará una metodología basada en la revisión de información nacional e internacional sobre microplásticos en el

medioambiente, y sus posibles efectos ambientales, para poder inferir lo que podría pasar en la cuenca baja del Maipo y los usos de su agua. También se buscará posibles fuentes de generación de microplásticos relacionadas con el Gran Santiago. De igual manera se analizará la normativa chilena y normativas internacionales ante estas materias, para, con esta información, sugerir medidas de control ante esta problemática. No se van a considerar los microplásticos secundarios debido a su naturaleza de generación. Éstos se derivan de la fragmentación de residuos plásticos bajo ciertos procesos físicos, químicos o biológicos (Enders et al., 2015). En el sistema de recolección de aguas servidas que existe en el lugar de estudio no se consideraría la entrada de microplásticos secundarios, exceptuando las fibras, debido a que estas se componen mayoritariamente de las aguas resultantes de las actividades cotidianas de las personas.

Objetivos

Objetivo general:

Estudiar los microplásticos (primarios) y fibras, desde la revisión bibliográfica, en aguas residuales provenientes del Gran Santiago y establecer posibles medidas de control

Objetivos específicos:

- Identificar la presencia y posibles fuentes de generación de microplásticos (primarios) en el Gran Santiago y determinar posibles efectos que podrían ocasionar en la cuenca baja del Maipo
- Analizar la normativa ambiental nacional y otras normativas ambientales internacionales aplicables a microplásticos.
- Proponer posibles medidas de control ante la presencia de microplásticos en los cuerpos de agua para el Gran Santiago.

Marco Teórico

Plásticos

El plástico proviene de materiales naturales que tienen propiedades plásticas intrínsecas. Con el paso del tiempo el plástico fue el resultado de la modificación química de materiales naturales como el caucho, la nitrocelulosa, el colágeno o la galalita. Finalmente, la gran diversidad de materiales completamente sintéticos que reconocemos como plásticos modernos empezaron a aparecer hace unos 100 años:

- Uno de los primeros ejemplos fue el invento de Alexander Parkes en 1855, denominado parkesina a partir de su propio nombre. Es lo que hoy en día conocemos como celuloide.
- El policloruro de vinilo (PVC) fue polimerizado por primera vez entre 1838 y 1872.
- Un avance fundamental tuvo lugar en 1907, cuando el químico belga-americano Leo Baekeland creó la baquelita, el primer plástico fabricado en serie realmente sintético.

Desde la creación de Baekeland, se han desarrollado muchos nuevos plásticos que ofrecen una amplia gama de propiedades deseables, y que están presente en la vida cotidiana (PlasticsEurope, 2021).

Los plásticos son derivados de materiales orgánicos, naturales, como celulosa, carbón, sal y petróleo. Hay muchos tipos de plástico, y se pueden agrupar en dos familias principales de polímeros. Los termoplásticos (que se

ablandan con el calor y se endurecen cuando se enfrían) y los termoestables (que nunca se ablandan una vez moldeados), detallados en la Tabla 1:

Tabla 1 Clasificación de los tipos de plásticos

Ejemplos de termoplásticos	Ejemplos de termoestables
Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)	Epóxido (EP)
Policarbonato (PC)	Fenol-formaldehído (PF)
Polietileno (PE)	Poliuretano (PUR)
Polietileno tereftalato (PET)	Resinas de poliéster insaturado (UP)
Policloruro de vinilo (PVC)	
Polimetilmetacrilato (PMMA)	
Polipropileno (PP)	
Poliestireno (PS)	
Poliestireno expandido (EPS)	
Politetrafluoroetileno (PTFE)	

Fuente: (PlasticsEurope, 2021)

Plásticos en Chile

En Chile, las principales actividades económicas son la minería (cobre, carbón y nitrato), productos manufacturados (procesamiento de alimentos, madera) y agricultura (pesca, viticultura, y fruta). Estas actividades se distribuyen a lo largo del país, predominando la minería en el Norte y la agricultura y ganadería en el Sur. En el año 2019 el sector industrial, el sector agrícola y el sector de servicios contribuyeron con un 30%, 57,6% y 3,6% del PIB respectivamente, lo cual nos sugiere que producto de la intensa producción se deriva también una intensa generación de residuos. Dada por la industria minera, el sector agrícola y la de servicios comerciales como los supermercados, centros comerciales, turismo, etc. con relación a la generación de residuos plásticos producto de cada actividad económica, se tienen las siguientes nociones (Ram, 2021).

Plásticos en el sector industrial minero

En general la industria minera emplea geomembranas hechas de PVC o polietileno de distintas densidades para la impermeabilización de tanques de relave, canales, canchas de lixiviación, depósitos de líquidos y desechos industriales, fundaciones de edificios y otros. También se utilizan bandejas de compartimiento y bolsas de muestreo constituidas de polipropileno para resguardar materiales del óxido o para tomar muestras del suelo minero (Ram, 2021).

Plásticos en el sector agrícola

En este sector se utilizan mantillas plásticas, túneles plásticos de cultivos para dar protección o aumentar la calidad de frutas y hortalizas. Gran parte de estos materiales están fabricados de polietileno dado su bajo costo. Hoy en día la introducción del plástico en esta actividad es un hecho generalizado, dando origen al concepto de la plasticultura (Ram, 2021).

Plásticos en el sector pesquero

Por otro lado, la actividad pesquera es una de las más presentes a nivel nacional dada la extensa disposición costera del país. Dentro de esta actividad se emplean boyas hechas de poliestireno para la flotabilidad de redes de pesca o limitar zonas marítimas.

Plásticos en el sector de servicios

Este sector involucra una gama de actividades que brindan productos o servicios a la sociedad por parte de grandes o pequeños comercios. Gran parte del consumo viene dado por las personas naturales y empresas de producción, por lo cual los residuos sólidos industriales y domiciliarios que finalizan en rellenos sanitarios y/o vertederos son una representación de la generación de residuos plásticos. Los principales tipos de plásticos que se hallan en estos sitios son el polietileno de alta y baja densidad (HDPE y LDPE), policloruro de vinilo (PVC), envases de politereftalato de etileno (PETE), poliestireno (PS) y polipropileno (PP) derivados de distintos productos, tales como: bolsas de basura, envoltorios de alimentos, botellas de bebidas, bandejas para huevos, vasos para bebidas calientes, envases de yogur, entre otros (Ram, 2021).

Por otro lado, los productos plásticos que son utilizados en el hogar de manera recurrente ya sean productos de cuidado personal como exfoliantes, pastas de dientes entre otros, pueden contener plásticos de menor tamaño. Estos plásticos pequeños, junto con las fibras que son liberadas en el lavado de ropa, se denominan microplásticos.

Microplásticos

Los microplásticos (MP) están ampliamente definidos como polímeros sintéticos con tamaño bajo los 5 mm (Thompson et al., 2009). También se maneja el concepto de nanoplasticos (NP), los que varían en diámetro de 1 a

100 o 1000 nm (Jiang et al., 2020). Recientemente, se realizó una actualización de la escala de tamaños, en la que se incorporaron los fragmentos de mayor tamaño, se les denomina mesoplásticos a los que van de 5 a 20 mm, mientras que los macropásticos son aquellos de mayores tamaños que se encuentran en el medioambiente y que posteriormente sufren una fragmentación de su estructura (Bustamante, 2020).

Los microplásticos pueden clasificarse en microplásticos primarios y microplásticos secundarios.

Microplásticos primarios

Los microplásticos primarios se encuentran principalmente en textiles, medicamentos y productos personales tales como exfoliantes faciales y corporales. Dentro de esta clasificación se pueden incorporar los pellets de producción de plástico, plástico virgen, los cuales corresponden a plásticos típicamente de 2 a 5 mm de diámetro (Cole et al., 2011), los cuales serán materia prima para generar nuevos productos. Estos microplásticos primarios pueden ser transportados por ríos, efluentes de plantas de tratamiento de agua, vientos y escorrentía superficial, ya sea de agua dulce o agua de mar (Li et al., 2018).

Microplásticos Secundarios

Los microplásticos secundarios son el derivado de la fragmentación de residuos plásticos bajo ciertos procesos de degradaciones físicas, químicas o biológicas (Enders et al., 2015). Un ejemplo de esto es que durante

períodos prolongados de exposición a la luz solar, se puede dar lugar a la degradación de los plásticos debido a que la radiación ultravioleta (UV) causa la oxidación de la matriz del polímero, lo que conduce a la división del enlace (Andrady, 2011).

Fibras plásticas

Las fibras de materiales textiles provenientes de lavadoras domésticas tienen el potencial de alcanzar ambientes acuáticos incluso después de haber pasado por el tratamiento de aguas residuales (Corradini et al., 2019). De una sola prenda de vestir sintética puede liberar más de 1900 microfibras por lavado (Mathalon & Hill, 2014).

Microplásticos en el medioambiente

Los microplásticos tienen una gran presencia y persistencia en el medio acuático, esto se ha podido evidenciar de manera global en los últimos años en estudios en áreas tropicales hasta en las aguas polares de la Antártida y el Ártico. En cuanto a la distribución vertical, existen microplásticos en la zona bentónica de cuerpos de agua, columnas de agua, aguas superficiales y playas. Algunos informes han mostrado que las concentraciones en el agua superficial varían de 10,5 a 105 piezas/ m^3 y de 40 a 400 piezas/L en sedimentos. Además, las distribuciones muestran claras variaciones geográficas (Li et al., 2018). Los factores que afectan la distribución incluyen fuerzas de gran escala tales como las corrientes impulsadas por el viento y la circulación geostrofica, la turbulencia y los efectos oceanográficos. Como

factores clave, las propiedades inherentes de los microplásticos como la densidad, la forma y el tamaño pueden afectar los patrones de transporte y distribución (Enders et al., 2015).

Por este motivo es necesario conocer la gestión del agua del lugar donde se desea investigar la presencia de microplásticos. Es importante tener conocimiento del origen y el destino del agua, ya que con estos antecedentes se podrá tener una visión transversal y así, estudiar los principales focos de presencia de microplásticos que se desean analizar.

Gestión de Agua en Santiago

Agua potable

En Chile, los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento difieren para la población urbana y rural. Mientras la población urbana (estimada en un 87%) es suministrada a través de empresas sanitarias, la población rural se abastece a través de cooperativas y comités de Agua Potable Rural (APR), las que en su mayoría forman parte del programa de APR de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas (Biobío en San Rosendo et al., 2016).

Agua potable urbana

Desde el año 1990 opera un régimen de concesión para cada uno de los servicios del ciclo sanitario: producción y distribución de agua potable, recolección, disposición y tratamiento de aguas servidas, configurándose los roles de operador y fiscalizador. Los operadores o ejecutores de los servicios

son los concesionarios, constituidos como sociedades anónimas que son dueños y/o explotadores de las concesiones. Este dominio es indefinido y la explotación es a 30 años plazo.

El rol de control y fiscalización lo ejerce la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), organismo dependiente del Ministerio de Obras Públicas (MOP), y comprende agua potable y saneamiento. Según datos de la SISS para el año 2014, las empresas sanitarias entregan servicios de agua potable a 5.000.449 de clientes lo que corresponde a un total estimado de 16.407.743 habitantes en zonas urbanas del país.

Las coberturas urbanas de servicios sanitarios se calculan respecto de la población que reside en inmuebles a los que se aplican tarifas reguladas para la determinación de su cuenta de servicio (clientes regulados). Lo anterior, conforme a la normativa vigente en nuestro país: Ley General de Servicios Sanitarios (D.F.L.MOP N° 382/88) y su Reglamento (D.S. MOP N° 1.199/04) y la Ley de Tarifas (D.F.L. MOP N° 70/88) y su Reglamento (D.S. MINECON N° 453/89).

La cobertura urbana de agua potable a nivel nacional se encuentra en 99,90% y la de alcantarillado en un 96,65%. En cuanto a tratamiento de aguas servidas se han logrado importantes avances, encontrándose instalados 283 sistemas, los que mayoritariamente operan mediante la tecnología de lodos activados. La cobertura urbana de estos sistemas es de 99,93% respecto de la población que cuenta con alcantarillado. (Biobío en San Rosendo et al., 2016).

A diciembre de 2014, el sector sanitario cuenta con 27 empresas principales que abastecen al 99,5% de la población en las zonas urbanas del país. Actualmente, un 95,71% de los clientes del sector es atendido por empresas privadas que entregan servicios de agua potable, recolección y tratamiento de aguas servidas y un 4,29% por concesionarias de propiedad del Estado, municipalidades y cooperativas. Las empresas conforman las siguientes categorías:

- Mayores (igual o superior al 15% del total de clientes del país): Aguas Andinas, ESSBIO
- Medianas (igual o superior al 4% y menos de 15% del total de clientes): ESVAL, Nuevosur, ESSAL, Aguas Araucanía y Aguas del Valle.
- Menores (menos del 4% del total): SMAPA, Aguas de Antofagasta, Aguas del Altiplano, Aguas Cordillera, Aguas Chañar, Aguas Magallanes, Aguas Décima, Aguas Patagonia de Aysén, SEMBCORP Aguas Chacabuco, Aguas Manquehue, SEMBCORP Aguas Lampa, COOPAGUA, Aguas San Pedro, COSSBO, San Isidro ESSSI, Aguas Santiago Poniente, Melipilla Norte, SEMBCORP Aguas Santiago, SELAR, Novaguas y otras empresas menores, en la Figura 1 se podrá visualizar lo antes mencionado.

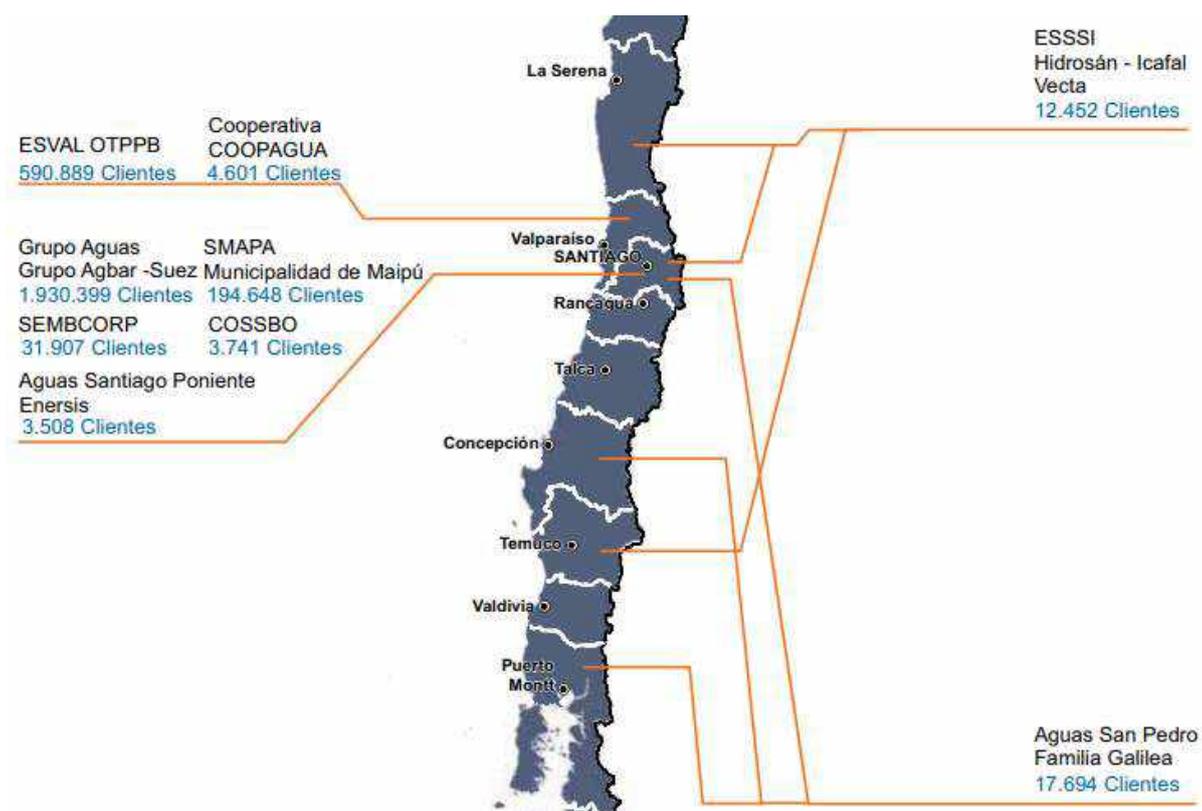


Figura 1 Detalle de clientes por empresa sanitarias de la región Metropolitana

Fuente: (Biobío en San Rosendo et al., 2016)

La gran parte de la gestión de agua potable en Santiago está a cargo de las empresas reguladas del Grupo Aguas (Aguas Andinas), la cual gestiona el ciclo del agua potable, esto quiere decir que entre los procesos se incluye la captación de agua cruda, producción, transporte y distribución de agua potable, recolección, tratamiento y disposición final de las aguas servidas (Aguas Andinas S.A., 2019).

El proceso de captación corresponde al primer proceso donde se capta agua cruda desde los ríos Maipo y Mapocho, se puede conseguir agua que proviene de la Cordillera de Los Andes. Las tres mayores reservas en la Cuenca de Santiago son: Embalse El Yeso, con una capacidad de 220

millones de metros cúbicos, Laguna Negra con 648 millones de metros cúbicos y Laguna Lo Encañado con 50 millones de metros cúbicos (Aguas Andinas, 2019). Para posteriormente seguir con la producción de agua potable, existe un conjunto de plantas con una capacidad total de potabilización de 34,37 m³ por segundo en la Región Metropolitana. Las principales plantas de producción de agua potable en el Gran Santiago son el Complejo Las Vizcachas y la Planta La Florida, que tienen un caudal de diseño de 16 mil y 4 mil litros por segundo, respectivamente. La distribución de esta agua se realiza gracias a estanques de regulación y una extensa red subterránea. En el Gran Santiago Aguas Andinas mantiene 373 estanques, con una capacidad superior a un millón doscientos mil de metros cúbicos totales, lo que otorga una alta autonomía del sistema. La red de distribución tiene una longitud de 13.258 kilómetros en la Región Metropolitana, lo que implica una cobertura del 100% de los clientes de agua potable (Aguas Andinas, 2019). Posterior al uso del agua potable hay una generación de aguas servidas, la evacuación de las aguas utilizadas es a través del alcantarillado hasta las plantas de saneamiento o puntos de disposición final. En el Gran Santiago, esta red que está diseñada para funcionar por flujo gravitacional, tiene una longitud de 10.763 kilómetros (Aguas Andinas S.A., 2019). Por último está el tratamiento de aguas servidas, que permite descontaminar las aguas residuales dejándolas en condiciones para su restitución a los cauces naturales y su posterior uso en riegos, y otros usos en conformidad con los estándares exigidos por la legislación chilena.

A través de Aguas Andinas, operan dos grandes plantas de tratamiento en el Gran Santiago: El Complejo Trebal-Mapocho y la Planta La Farfana. Además, existen 10 instalaciones menores y una planta en la zona nororiente del área de concesión. En conjunto, todas estas instalaciones efectúan la depuración del 100% de las aguas servidas en la Región Metropolitana (Aguas Andinas S.A., 2019). Las dos grandes plantas de tratamiento en el Gran Santiago actualmente cuentan con tratamientos de digestión anaeróbica de los lodos mixtos (primario y biológicos) producidos por la línea agua (SEIA, 2018).

Como resultado del proceso de saneamiento realizado en las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, que prestan servicio a Santiago, se obtienen dos productos:

- a) Agua tratada, que cumple con los parámetros establecidos en el DS N° 90/2000 “Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales”
- b) Lodos tratados biológicamente, el cual es un material compuesto principalmente por materia orgánica, macro y micronutrientes, y algunos elementos traza metálicos, que resultan de la separación y tratamiento del componente sólido del líquido, en el proceso de depuración de las aguas servidas. La normativa internacional, en su concepción general, lo define como un elemento que ha sido sometido a procesos de tratamiento y que, por su contenido de materia orgánica y nutriente, puede ser susceptible de

aprovechamiento (SEIA, 2011). Donde el reúso o disposición final de estos lodos pueden ser los siguientes:

- Actividad silvoagrarias
- Compostaje
- Recuperación de pasivos en la minería
- Planes de cierre de rellenos sanitarios
- Valorización térmica
- Disposición final en rellenos sanitarios
- Otras experiencias de investigación

Las Plantas El Trebal- Mapocho y La Farfana tratan la gran parte de las aguas servidas del Gran Santiago, las cuales son vertidas al Río Mapocho, que desemboca en el Río Maipo. El Río Maipo es un curso de agua que fluye en la Región Metropolitana y luego en la Región de Valparaíso hasta desembocar en el Océano Pacífico al sur de San Antonio (Chile).

Cuenca del Río Maipo

La cuenca del río Maipo (Figura 2) tiene una superficie de 15.380 kilómetros cuadrados, se origina al pie occidental del volcán del mismo nombre. Este río tiene un régimen de alimentación mixta.

El Río Maipo recibe en la cordillera tres grandes tributarios: los ríos Volcán, Colorado y Yeso. En la Cuenca del Maipo recibe por el norte al Río Mapocho, su principal afluente; este río drena la parte norte de la cuenca que atraviesa la ciudad de Santiago.

En su curso medio el río Maipo recibe a los ríos Clarillo y Angostura. El primero de ellos desagua una hoyada lateral en donde se encuentra el embalse Pirque. En el curso superior caen al Maipo otros esteros de escaso caudal como son Popeta, El Sauce y San Juan. Finalmente, el río Maipo, tras un recorrido de 250 kilómetros desemboca en Lolleo inmediatamente al sur del puerto de San Antonio (Región de Valparaíso).

La cuenca del Maipo presenta una alta concentración de habitantes y concentra diversas industrias. Además es necesario destacar que el Río Maipo atiende alrededor del 70% de la demanda actual de agua potable y cerca de un 90% de las demandas de regadío (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2020)

En lo que respecta al uso del agua en la cuenca, ésta se encuentra dividida en tres secciones legales. Dentro de éstas los usuarios son diversos. Se cuentan entre ellos una importante área agrícola, con más de 136.000 ha. bajo riego de las cuales el 50% aproximadamente corresponden a cultivos permanentes de viñas y frutales, las que poseen una demanda de agua concentrada en los meses de primavera y verano. Por otra parte, está el área urbana metropolitana de Santiago, la cual, con sus más de 6 millones de habitantes, ejercen una creciente y constante demanda de recursos, tanto en lo que respecta a consumo domiciliario e industrial, así como también el riego y la mantención de parques y jardines.

En términos ambientales, es importante mencionar que la cuenca se inserta en un ecosistema mediterráneo con una de los mayores niveles de

biodiversidad y endemismo de especies en Chile (*La Cuenca Del Rio Maipo* – Proyecto MAPA, 2013).

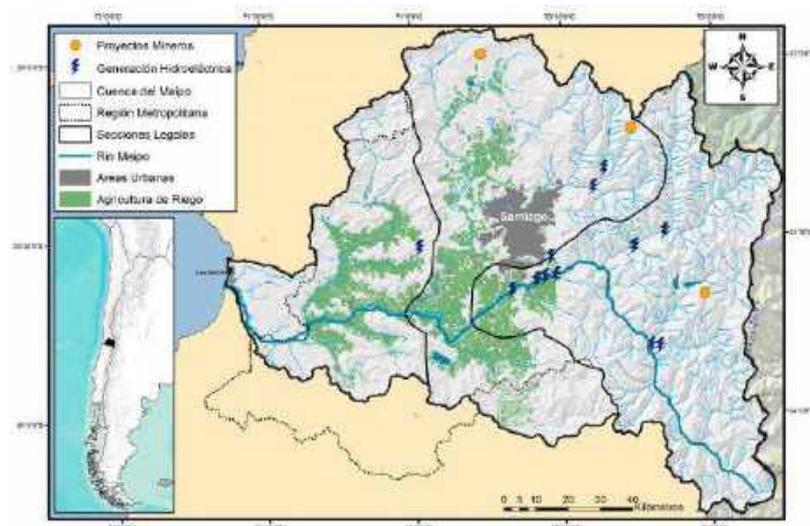


Figura 2 Hidrografía, secciones legales y usuarios presentes en la cuenca del río Maipo

Fuente: (*La Cuenca Del Rio Maipo* – Proyecto MAPA, 2013)

Normativa Nacional

A continuación, se presentará la normativa asociada a la gestión de agua residual del Gran Santiago

DS N°609/98 “Norma de Emisión a la regulación de contaminantes asociados a las descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistema de Alcantarillado”

La norma está orientada a proteger y preservar los servicios públicos de recolección y disposición de aguas servidas mediante el control de las descargas de residuos industriales líquidos, que puedan producir

interferencias con los sistemas de tratamiento de aguas servidas, o dar lugar a la corrosión, incrustación, u obstrucción de las redes de alcantarillado o a la formación de gases tóxicos o explosivos en las mismas, u otros fenómenos similares. Esta norma, al proteger los sistemas de recolección de aguas servidas, evita que los contaminantes transportados por éstos puedan eventualmente ser liberados sin tratamiento, al medioambiente urbano, pudiendo afectar la calidad de éste, y la salud de las personas.

Los parámetros normados son: sólidos suspendidos, aceites y grasas, aluminio, boro, hidrocarburos, DBO₅ (el valor DBO₅ indica la cantidad de oxígeno que las bacterias y otros seres vivos minúsculos consumen durante 5 días a una temperatura de 20°C en una muestra de agua para la degradación aeróbica de las sustancias contenidas en el agua), arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo total, como hexavalente, fósforo, manganeso, mercurio, níquel, nitrógeno amoniacal, plomo, sulfatos, sulfuro, zinc y sólidos sedimentables (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, 1998).

DS. 90 “Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales”

La norma tiene como objetivo de protección ambiental prevenir la contaminación de las aguas marinas y continentales superficiales de la República, mediante el control de contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan a estos cuerpos receptores. La presente norma de emisión establece la concentración máxima de contaminantes permitida para residuos líquidos descargados por las fuentes emisoras, a los cuerpos

de agua marinos y continentales superficiales de la República de Chile. Los parámetros normados son: sólidos suspendidos, aceites y grasas, hidrocarburos totales, hidrocarburos volátiles, hidrocarburos fijos, DBO₅, arsénico, aluminio, boro, cadmio, cianuro, cloruros, cobre, índice de fenoles, cromo hexavalente, cromo total, estaño, flúor, fósforo, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, nitrógeno total kjeldahl, nitrito y nitrato, pentaclorofenol, plomo, SAAM, selenio, sulfatos, sulfuro, tetracloroetano, tolueno, triclorometano, xileno, zinc, sólidos sedimentables y coliformes fecales o termotolerantes (MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA, 2001).

Según lo expuesto, los microplásticos no están regulados en nuestro país, debido a que en la ley vigente no lo contempla como parámetro contaminante en las descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistema de Alcantarillado (agua que ingresa a la PTAS) y contaminantes asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. Es de suma importancia poder ahondar en esta temática debido a que en Chile no existe una base científica robusta para poder realizar algún tipo de gestión, lo que podría implicar una toma de conocimiento y conciencia ambiental y social para poder llegar en algún momento tener una legislación que regule la presencia de microplásticos y medidas transversales que apunten a un cambio conductual tanto en el sector privado como público.

Es necesario conocer el escenario actual en cuanto a conocimiento científico vinculado a microplásticos en nuestro territorio, identificar su origen, los efectos y legislación nacional e internacional vinculada.

Metodología

Para desarrollar esta investigación se realizó una revisión selectiva de literatura científica publicada, debido a que cada año se publican en el mundo miles de artículos en revistas académicas, libros y otras clases de materiales sobre este tema en particular (Hernández et al., 214 C.E.). Esto hace necesario la selección de información para acotar y enfocar la línea de investigación. A continuación, se darán a conocer los pasos a seguir para la selección de información:

1. Como primer paso fue necesario formular preguntas de investigación:
 - ¿Qué investigaciones se han realizado en Chile respecto a microplásticos?
 - ¿Cuáles son las fuentes de generación de los microplásticos?
 - ¿Cuáles son los efectos conocidos de los microplásticos sobre los ecosistemas y la salud humana?
 - ¿Existe normativa internacional respecto a la fabricación y/o manejo de microplásticos?
 - ¿Qué se puede hacer respecto a los microplásticos para eliminarlos?

2. Descriptores

Es importante identificar las palabras claves de búsqueda junto con sus descriptores, se utilizaron las siguiente:

- Microplasticos: "Microplastic", "Plastic Microparticle", "Mesoplastics", "Plastic Nanoparticle", "Microparticle, Plastic"
- Origen: "Origin", "Source", "derivation"
- Agua Residual; "Waste Waters", "Water, Waste", "Waters, Waste", "Wastewater", "Wastewaters"
- Efectos: "effects", "adverse effects", "toxicity"

3. Operadores Booleanos

Los operadores booleanos forman la base de los conjuntos matemáticos y la lógica para la búsqueda en las bases de datos. Los operadores conectan sus palabras de búsqueda para estrechar o ampliar los resultados. Los operadores booleanos que se utilizaron fueron: AND y OR, como se puede visualizar en la Tabla 2.

Tabla 2 Combinación de búsqueda con operadores booleanos

("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Mesoplastics" OR "Plastic Nanoparticle" OR "Microparticle, Plastic") AND Chile
("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Plastic Nanoparticle") AND ("Origin" OR "Source" OR "derivation") AND ("Waste Waters" OR "Water, Waste" OR "Wastewater" OR "Wastewaters")
("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Mesoplastics" OR "Plastic Nanoparticle" OR "Microparticle, Plastic") AND ("effects" OR "adverse effects" OR "toxicity")

Fuente: Elaboración propia

4. Bases de datos

Se utilizó la base de datos electrónica PubMed, Web of Science, Scopus y Scielo, todas de acceso libre. Además, una de ella se especializa en ciencias

de la salud, lo cual será de gran utilidad para los objetivos planteados y Scielo tiene una base de datos más amplia en cuanto a cercanía geográfica. En la Tabla 3 se detalla la combinación de operadores booleanos utilizados por cada base de datos.

Tabla 3 Combinación de operadores booleanos utilizados por cada base de datos

Base de Datos	PUBMED	WEB OF SCIENCE	SCOPUS	SCIELO
Combinación de operadores booleanos utilizado	("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Mesoplastics" OR "Plastic Nanoparticle" OR "Microparticle, Plastic") AND Chile	TS=("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Mesoplastics" OR "Plastic Nanoparticle" OR "Microparticle, Plastic") AND CU=Chile	("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Plastic Mesoplastics" OR "Plastic Nanoparticle" OR "Microparticle, Plastic") AND Chile	("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Mesoplastics" OR "Plastic Nanoparticle" OR "Microparticle, Plastic") AND Chile
	("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Plastic Nanoparticle") AND ("Origin" OR "Source" OR "derivation") AND ("Waste Waters" OR "Water, Waste" OR "Wastewater" OR "Wastewaters")	TS=("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Plastic Nanoparticle") AND TS=("Origin" OR "Source" OR "derivation") AND TS=("Waste Waters" OR "Water, Waste" OR "Wastewater" OR "Wastewaters")	("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Plastic Nanoparticle") AND ("Origin" OR "Source" OR "derivation") AND ("Waste Waters" OR "Water, Waste" OR "Wastewater" OR "Wastewaters")	("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Plastic Nanoparticle") AND ("Origin" OR "Source" OR "derivation") AND ("Waste Waters" OR "Water, Waste" OR "Wastewater" OR "Wastewaters")
	("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Mesoplastics" OR "Plastic Nanoparticle" OR "Microparticle, Plastic") AND ("effects" OR "adverse effects" OR "toxicity")	TS=("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Mesoplastics" OR "Plastic Nanoparticle" OR "Microparticle, Plastic") AND TS=("effects" OR "adverse effects" OR "toxicity")	("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Mesoplastics" OR "Plastic Nanoparticle" OR "Microparticle, Plastic") AND ("effects" OR "adverse effects" OR "toxicity")	("Microplastic" OR "Plastic Microparticle" OR "Mesoplastics" OR "Plastic Nanoparticle" OR "Microparticle, Plastic") AND ("effects" OR "adverse effects" OR "toxicity")

Fuente: Elaboración propia

5. Criterios de inclusión y exclusión de los artículos

Para realizar la revisión sistemática es necesario tener claridad de los criterios de inclusión y exclusión. Se desarrollaron criterios para las tres

búsquedas, información existente en Chile, las fuentes de generación y los posibles efectos, esto ayudó acotar la selección de artículos que fueron analizados. En la Tabla 4 se detallan los criterios para cada búsqueda.

Tabla 4 Criterios de inclusión y exclusión

ítem	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Chile	Artículos científicos publicados en inglés y español en el periodo de los últimos 6 años.	Artículos científicos duplicados, metodología referente a la identificación de microplásticos en agua y en lodos de PTAS.
Fuentes	Artículos científicos publicados en inglés y español en el periodo de los últimos 6 años.	Artículos científicos duplicados.
Efectos	Revisiones en inglés y español, en el periodo de los últimos 6 años y todos de acceso libre.	Artículos científicos duplicados.

Fuente: Elaboración propia

6. Clasificación de la información

Se utilizó el software libre Rayyan QCRI del Instituto de Investigación Computacional de Catar, especializado en revisiones sistemáticas (Ouzzani et al., 2016). La revisión y selección de artículos fue completada por dos personas para consensuar y argumentar las decisiones tomadas minimizando los sesgos del proceso de elección.

Rayyan fue desarrollado específicamente para acelerar la selección inicial de resúmenes y títulos utilizando un proceso de semiautomatización, buscando simplificar todo el proceso de revisión sistemática, facilitando la selección de resúmenes, títulos y la colaboración, además de otras características de apoyo (Ouzzani et al., 2016). En Figura 3 se podrá visualizar en la página de inicio. El panel enumera todas las revisiones para este usuario, así como para cada revisión el progreso en términos de decisiones tomadas y tiempo

estimado dedicado a trabajar en la revisión para todos los colaboradores (Camila Higuera y Carlos Manzano).

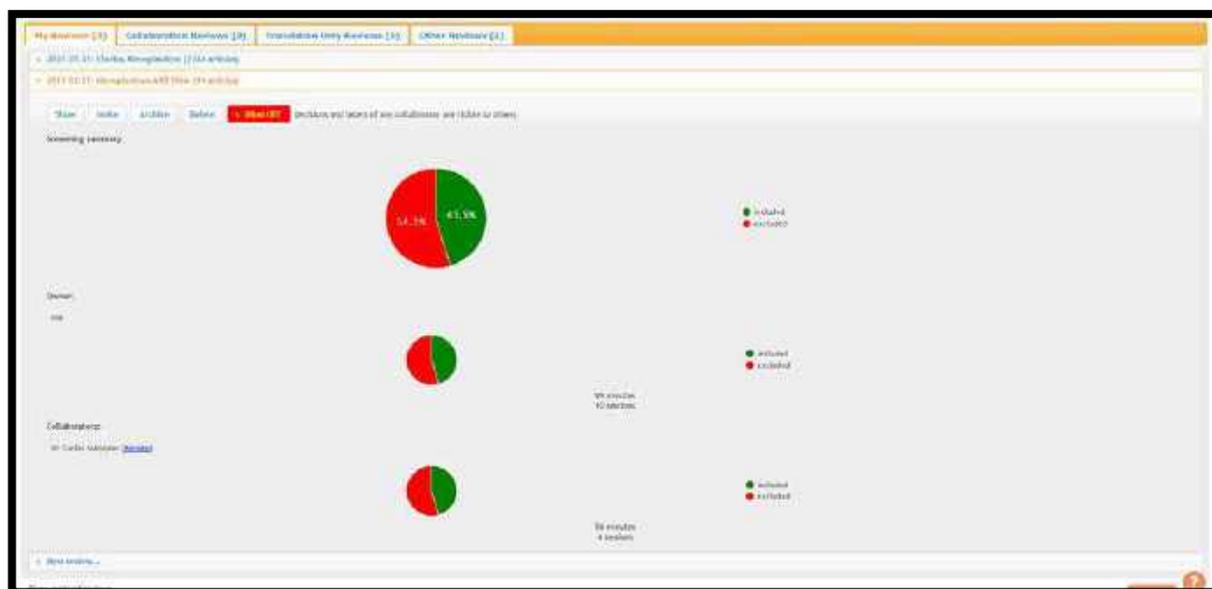


Figura 3 Página de inicio, visualización análisis en Rayyan.

Fuente: Rayyan

7. Lectura de los documentos seleccionados

Posterior a la clasificación de información, es decir, los artículos que fueron resultados de la revisión en Rayyan se analizan y se incluyen en esta investigación.

8. Selección de países

Se analizó la normativa asociada a microplásticos de 4 países, entre los cuales está Estados Unidos de América (EE. UU), quien fue el pionero en tener legislación en cuanto a microperlas en los productos de cuidado personal, seguido de Canadá y Reino Unido. También se incluyó a México, que si bien aún no cuenta con legislación, se encuentra en discusión y es lo

más cercano a nuestra realidad, tratándose de un país que se encuentra en Latinoamérica. Hay más países que cuentan con legislación de microperlas pero es importante destacar los 3 primeros en implementar este tipo de legislación y uno que sea lo más cercano posible a nuestra realidad (Chile).

9. Propuestas de medidas de control

Con la información se podrán sugerir recomendaciones, medidas de control para el Gran Santiago, siempre y cuando se logre ver una compatibilidad con nuestro territorio. Además, se va a profundizar en acciones, actividades o propuestas como medidas de control para la presencia de microplásticos en el medioambiente estudiado.

Resultados

En las siguientes secciones se presentan los hallazgos encontrados en la revisión realizada a los artículos académicos provenientes de las bases de datos científicas PubMed, Web of Science, Scopus y Scielo de acuerdo con la metodología que se detalló anteriormente. En la Tabla 5 se muestran los artículos que fueron resultados de la revisión en Rayyan y los seleccionados, es decir, artículos que fueron analizados e incluidos en esta investigación.

Tabla 5 Resultados de artículos en rayyan y seleccionados

Elemento	Rayyan	Seleccionados
Chile	20	17
Fuentes de Generación	96	44
Efectos	96	26

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se va a desarrollar el primer objetivo de esta investigación.

Identificar fuentes de generación de microplásticos (primarios) en el Gran Santiago y determinar posibles efectos que podrían ocasionar en la cuenca baja del Maipo

Información de microplásticos en Chile

Se analizaron 17 artículos académicos, más del 50% se publicaron en los últimos 4 años, lo que indica que es un tema actual. En cuanto a la ubicación geográfica de los estudios que se analizaron, el 41% (n=7) corresponde a la región de Valparaíso, pero de este el 57% (n=4) es solo de la localidad de Rapa Nui, el 24% (n=4) de la región del Biobío, el 18% (n=3) de la Patagonia Chilena, el 12 % (n=2) de la región Metropolitana y el 6% (n=1) de Chillán. Estos porcentajes se dan debido a un alto interés por las zonas de

conservación como es la localidad de Rapa Nui y la Patagonia Chilena, en cuanto a la región del Biobío se centran en la ciudad de Concepción, donde las investigaciones tienen un gran respaldo de la universidad de la zona. Chillán, si bien corresponde a una región distinta a la del Biobío, se encuentra cercana a Concepción. Cabe destacar que existe un gran interés por las zonas costeras el cual representaba el 82% (n=14) de los estudios analizados, despreocupando el origen de los microplásticos, y dejando de lado la Región Metropolitana, considerando que es la zona más densamente poblada del país, y probablemente el sector donde se genera gran parte de los microplásticos. Con estos antecedentes se evidencia un gran nicho de investigación en ciudades densamente pobladas como es el caso del Gran Santiago, por falta de información científica y quizás donde no se evidencian efectos visibles dentro de ecosistemas que no son tan ricos en biodiversidad comparado con los ambientes costeros. Además, llama la atención que dentro de los estudios analizados no se encontraran investigaciones en la zona norte del país.

La principal temática de los artículos analizados corresponde a los efectos que ocasionan los microplásticos en animales y plantas con un 41% (n=7), lo sigue la detección de los microplásticos que corresponde al 35% (n=6), el 18% (n=3) en ingestión o absorción en animales y plantas, el 12% (n=2) en identificación y el 6% (n=1) de fuentes, se debe tener en consideración que dos de los artículos analizados trataban dos temáticas. Las temáticas que son abordadas en los artículos científicos apuntan a lo actual que es el tema de los microplásticos, ya que aún se analiza los efectos, detección (sin tener

una metodología estandarizada) y la transferencia de éstos, pero no del origen. Siendo este último tema mucho más complejo, debido a las diversas posibles fuentes de generación y el gran involucramiento que tiene en sí el plástico en nuestro diario vivir.

Por ejemplo, Rapa Nui está fuertemente conectada a pesca intensiva, lo cual está directamente relacionado a altos porcentajes de varamiento de basura. La basura plástica llega en un estado ya degradado originado por el transporte marítimo y debido al tiempo que permanecieron en los ríos, sistemas de alcantarillado o zonas costeras rocosas (Gennip et al., 2019). Se estima que existe cierto potencial de que las corrientes oceánicas transportan la contaminación plástica incluso a fiordos y canales vírgenes en la Patagonia chilena.

Se ha evidenciado que existe cierta distribución de microplástico en la columna de agua en territorio chileno, donde se han encontrado partículas microplásticas, principalmente acrílicos, PET y celofán. La distribución de microplásticos podría mostrar una segregación vertical y longitudinal impulsada respectivamente por la estructura vertical de la columna de agua y el gradiente de salinidad desde la cabeza del sistema de canales hasta la desembocadura (Castillo et al., 2020).

Pero los microplásticos no solo se han detectado en el agua. En Chile existen reportes en los que se ha evaluado la presencia de partículas microplásticas en suelos bajo diferentes usos de la tierra, encontrando evidencia clara de contaminación en tierras de cultivo y pastos, pero no en pastizales naturales. Esto indica que, si bien las intervenciones humanas

aumentaron la acumulación de microplásticos en los suelos, los microplásticos no son un problema generalizado en todos los usos de suelo. La contaminación de los suelos por microplásticos ocurre en las tierras de cultivo, independientemente del uso de fertilizantes o aplicaciones de compost y que las operaciones mineras, las carreteras y las áreas urbanas cercanas no contribuyen significativamente a la contaminación del suelo por microplásticos en esta región (Región Metropolitana de Chile) (Corradini et al., 2021).

También existe evidencia que la aplicación de lodos en los suelos (fertilizantes) dieron como resultado un aumento de los recuentos de microplásticos en algunas muestras de suelo dentro del territorio chileno. Al evaluar campos agrícolas con diferentes registros de aplicación de lodos, se evidencia la acumulación de microplásticos a lo largo del tiempo. Los datos revelaron una alta concentración de microplásticos en los suelos, lo que respalda el hecho de que los lodos son un factor determinante de la contaminación por microplásticos del suelo (Corradini et al., 2019).

Otro tema interesante es la detección de microplásticos en animales, en Chile se han realizados diferentes estudios, arrojando que las microfibras fueron la clase de microplásticos más abundante en todas las muestras de peces (Mizraji et al., 2017). En cuanto a los pinnípedos (focas, leones marinos y morsas) se debe tener en consideración que son los principales depredadores marinos, es decir, especies centinelas de la salud de los océanos, y pueden actuar como bioindicadores, de igual forma las microfibras fueron el tipo más abundante de microplásticos identificados

(Diego J. Perez-Venegas et al., 2020). Esto también se ha podido evidenciar en ejemplares de la Patagonia Norte. La explicación más probable sería la transferencia trófica de los animales más pequeños de los que se alimentan, sugiriendo que la industria textil y los lavados domésticos son la principal fuente de microfibras en los océanos que los lobos marinos pueden ingerir con sus presas. Esto podría verse reforzado por el hecho de que algunos organismos marinos fragmentan aún más los microplásticos en partículas más pequeñas como resultado del proceso digestivo (D. J. Perez-Venegas et al., 2018).

La identificación de los microplásticos presentes podría dar indicios de su origen, el nivel de transporte dentro de las cadenas tróficas y en el medioambiente para tener posibles medidas de control. Existen investigaciones realizadas en Chile, donde se analizan y caracterizan el contenido gastrointestinal de los peces mediante microscopía equipada con espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR). Los MP encontrados en las muestras de peces estaban constituidos principalmente por microfibras rojas (70-100%) con tamaños que oscilaban entre 176 y 2842 μm . Poliéster, polietileno (PE) y tereftalato de polietileno (PET) se identificaron como los polímeros prevalentes detectados. Las especies costeras mostraron la presencia de microfibras con mayor tamaño y abundancia (71%) en comparación con las especies oceánicas (29%), lo que sugiere que existe un mayor riesgo de exposición en las costas (Pozo et al., 2019). La caracterización química de la investigación ha detectado polietileno tereftalato (PET), polietileno (PE) y poliéster como los principales

polímeros identificados. Las especies de peces (LTL) de los sitios costeros (desembocadura del río Biobío) mostraron el mayor número y tamaño de microfibras, superando a los organismos (HTL) del hábitat oceánico. Los aportes fluviales pueden jugar un papel importante en el ecosistema costero ya que actúan como fuentes de MP que contribuyen a la ingestión directa de MP, se piensa que el consumo de este tipo de microfibras está relacionado principalmente con los hábitats de los peces y está relacionado con los alimentos que comen más que con su nivel trófico (Pozo et al., 2019). También existe evidencia de un análisis del contenido intestinal, siendo la mayoría fibras, se observaron diferencias en los colores de las fibras plásticas, en las que los colores azules parecen ser dominantes en los machos, pero no en las hembras, donde predominan las fibras rojas y transparentes.

Una especie analizada, el cangrejo real del sur *Lithodes santolla* muestra claramente que está ingiriendo microplásticos en su entorno natural y, por lo tanto, demuestra que los plásticos ya han entrado dentro de su hábitat, es decir, en las aguas marinas magallánicas, dentro de una de las regiones vírgenes del mundo con las densidades de población humana más bajas de Chile (Andrade et al., 2017), por lo que la presencia de microplástico puede deberse a las corrientes oceánicas como se dejó en evidencia anteriormente.

La ingestión de microplásticos por peces se han podido evidenciar en estudios realizados en Chile donde se comparan los microplásticos y los organismos planctónicos en las aguas superficiales destacando la amenaza

de la contaminación por microplásticos en la integridad de los frágiles ecosistemas remotos y la urgente necesidad de una gestión eficiente de los residuos plásticos. Los microplásticos representan una amenaza para la integridad de los ecosistemas marinos porque son ingeridos por diversos organismos a los que pueden causar efectos fisiológicos y de comportamiento deletéreos se han reportado microplásticos en muchas especies de peces en la mayoría de los ambientes. Sin embargo, los factores que influyen en la ingestión de microplásticos todavía están poco estudiados. Algunos estudios han sugerido que los peces ingieren microplásticos por haber confundido éstos con presas naturales (Ory et al., 2017).

Caso contrario ha sido la ingestión de microplásticos por peces planctívoros alrededor de Rapa Nui, que son susceptibles de ser transferidos a sus depredadores, como *T. albacares*. No se encontraron microplásticos en los estómagos vacíos de *T. albacares*, aunque la transferencia de plástico puede ocurrir entre el depredador y su presa parece que los microplásticos se digieren rápidamente y no se acumulan en los atunes (Chagnon et al., 2018).

En ambientes terrestres los microplásticos se pueden transferir a través de la ingestión como ocurre en los animales o por absorción en el caso de las plantas. Algunos estudios han indicado que los microplásticos podrían acumularse en las raíces de las plantas en cultivos hidropónicos, llegando potencialmente a nosotros como consumidores finales, también se indica que las partículas de PE se acumulan dentro de la rizosfera del maíz

cultivado hidropónicamente, aunque los microplásticos no pueden llegar al sistema vascular ni trasladarse a los brotes. Sin embargo, los plásticos en ambientes terrestres inevitablemente se fragmentarán (nanoplásticos), eventualmente alcanzando tamaños nanométricos que podrían ser absorbidos por las plantas (Urbina et al., 2020).

Se han mencionado también posibles efectos (efectos documentados en Chile) de los microplásticos en los organismos. La mayoría de microplásticos se encuentran en los estómagos como fragmentos rotos con bordes afilados lo que podría desgarrar los tejidos del tracto digestivo (Ory et al., 2017). Las fibras microplásticas, como se mencionó anteriormente, son las que se encuentran en mayor medida en los organismos, al ser ingeridas pueden tener consecuencias subletales o letales para la salud en una variedad de organismos marinos. Estas complicaciones pueden incluir obstrucción intestinal, falsa sensación de saciedad, lesiones físicas, y estrés hepático, mediante sustancias orgánicas bioacumulativas que podrían estar asociadas a los plásticos. Estos impactos podrían afectar la reproducción y el crecimiento de los peces, como se ha encontrado en experimentos realizados en el cangrejo verde europeo (Mizraji et al., 2017). Los microplásticos podrían afectar el proceso digestivo, el comportamiento, la fisiología, el sistema reproductivo y la integridad del tracto gastrointestinal de organismos de niveles tróficos inferiores. Podrían causar un pequeño estrés en el sistema intestinal del animal, pero luego podrían ser eliminados nuevamente al medioambiente, haciéndolos de nuevo biodisponibles.

Hasta ahora no hay suficiente evidencia para concluir si los microplásticos tendrían un efecto en la salud de los principales depredadores (como los lobos marinos) o si son inocuos. Existe una importante falta de información sobre el tiempo de retención de los microplásticos en el tracto intestinal de los mamíferos marinos (D. J. Perez-Venegas et al., 2018).

También se ha evidenciado que las tasas de crecimiento de los anfípodos no se vieron afectadas por la concentración de microplásticos, determinando que el tiempo de exposición a los microplásticos es probablemente clave (Carrasco et al., 2019). A pesar del deterioro fisiológico desencadenado por la primera exposición a microplásticos, se observa una disminución del estrés y la expresión de genes relacionados con el sistema inmunológico en la glándula digestiva de los mejillones expuestos por segunda vez a microplásticos. Esta respuesta reducida a los microplásticos indica, en condición experimental que: (i) no hay un efecto acumulativo de la exposición repetida a microplásticos en la homeostasis del mejillón, (ii) las alteraciones fisiológicas y la alteración de la homeostasis del mejillón pueden ser reversibles y (iii) que los mejillones pueden ser capaces de establecer mecanismos de aclimatación tras la exposición repetida a microplásticos (Détrée & Gallardo-Escárate, 2018). Sin embargo, una exposición de 18 días a los MP parece afectar la homeostasis global de los mejillones y dando como resultado la regulación de los procesos inmunológicos y relacionados con el estrés, lo que genera un alto costo energético y una disminución de la tasa de crecimiento en respuesta a la exposición repetida a una alta concentración de microplásticos, los mejillones en estas condiciones pueden

ser incapaces de mantener una población viable en estas condiciones (Détrée & Gallardo-Escárate, 2018).

Sin duda alguna, el rápido aumento de la contaminación plástica en las últimas cinco décadas ha tenido efectos negativos para una gran cantidad de organismos marinos. Más de 400 especies de peces e invertebrados marinos se han enredado o ingerido plástico y una de cada 10 especies que han consumido o se han enredado con desechos marinos están, en peligro de extinción. Otros impactos causados por la basura marina son el transporte y la invasión de especies no autóctonas, además los plásticos que se acumulan en las islas oceánicas también pueden ser vectores de contaminantes orgánicos (Luna-Jorquera et al., 2019). Estos hallazgos son consistentes con otras investigaciones y destacan la capacidad de los microplásticos para atrapar y transportar COP a los entornos costeros (Pozo et al., 2020).

Por otra parte, las lombrices de tierra al estar expuestas a microplásticos están frente a un agente de estrés físico externo lo cual produjo una pérdida de mucosidad superficial, quemaduras y lesiones en sus cuerpos, aumentando los niveles de enzima. Los microplásticos estaban presente en todos los segmentos de lombriz de tierra, con un mayor número de partículas en el intestino posterior. Es importante mencionar que las lombrices de tierra son usadas como bioindicador, ya que las lombrices de tierra pueden actuar como importantes agentes de transporte de microplásticos, lo que tiene implicaciones para la posterior disponibilidad de estas partículas sintéticas a otros organismos terrestres y provoca daños en

sus intestinos y en las respuestas del sistema inmunológico realizando una transferencia de microplásticos en la cadena alimentaria terrestre (Baeza et al., 2020).

En cuanto a las plantas, la acumulación de microplásticos en las raíces ya es preocupante, ya que los comedores de raíces (incluido el ganado alimentado con forrajes hidropónicos) podrían ser susceptibles a ingerir microplásticos y, por lo tanto, crear un aumento en la cadena alimentaria. Además de las implicaciones ambientales, la acumulación de microplásticos en la rizosfera provocó limitaciones de agua y nutrientes. Esto es particularmente relevante para el uso de forrajes hidropónicos, donde la interferencia con el sistema de raíces puede causar una reducción tanto de la biomasa como del valor nutricional del forraje verde (Urbina et al., 2020).

Origen del microplástico en aguas residuales

Se analizaron 96 artículos científicos, de los cuales solo 43 se incluyeron (tomando en consideración los criterios que se detallaron en la metodología) dentro del análisis que se desarrollará a continuación:

Es importante tener una visión global de donde se realizaron las investigaciones, el cual da un cierto escenario de los lugares donde existe una mayor preocupación del tema o existe cierto conocimiento. En la Figura 4 se puede visualizar los países de origen de los artículos científicos analizados.



Figura 4 País de origen de los artículos científicos analizados

Fuente: Elaboración propia

Los estudios se centran en china con un 26% (n=10), seguido de EE. UU. y México con un 8% (n=3) cada uno. Esto podría explicarse que estos países tienen una gran concentración de habitantes, con una producción de aguas residuales considerable, las cuales tendrían una gran cantidad de microplásticos.

En cuanto a las fuentes, se mencionan:

- Aguas residuales
- PTAS
- Fuentes urbanas
- Acuicultura
- Aguas residuales de pulido de gafas
- Lavado de ropa
- Derretimiento del hielo marino

- Refrescos, bebidas energéticas, té frío y cerveza
- Industria textil
- Cosméticos
- Las toallitas húmedas y las toallas sanitarias
- Productos de cuidado personal (exfoliantes)
- Pesca
- Fuentes de agua potable en el metro
- Turismo
- Lavado

Las fuentes urbanas dentro de las investigaciones están compuestas por: el desgaste de neumáticos y / o las partículas de sellador de asfalto provenientes de las carreteras, fibras de diferentes fuentes, las aguas residuales no tratadas, las aguas residuales tratadas, la escorrentía pluvial tratada y no tratada, así como el desbordamiento combinado de alcantarillado.

En el Figura 5 se muestran la cantidad de artículos científicos analizados clasificados según la fuente de generación de microplásticos.

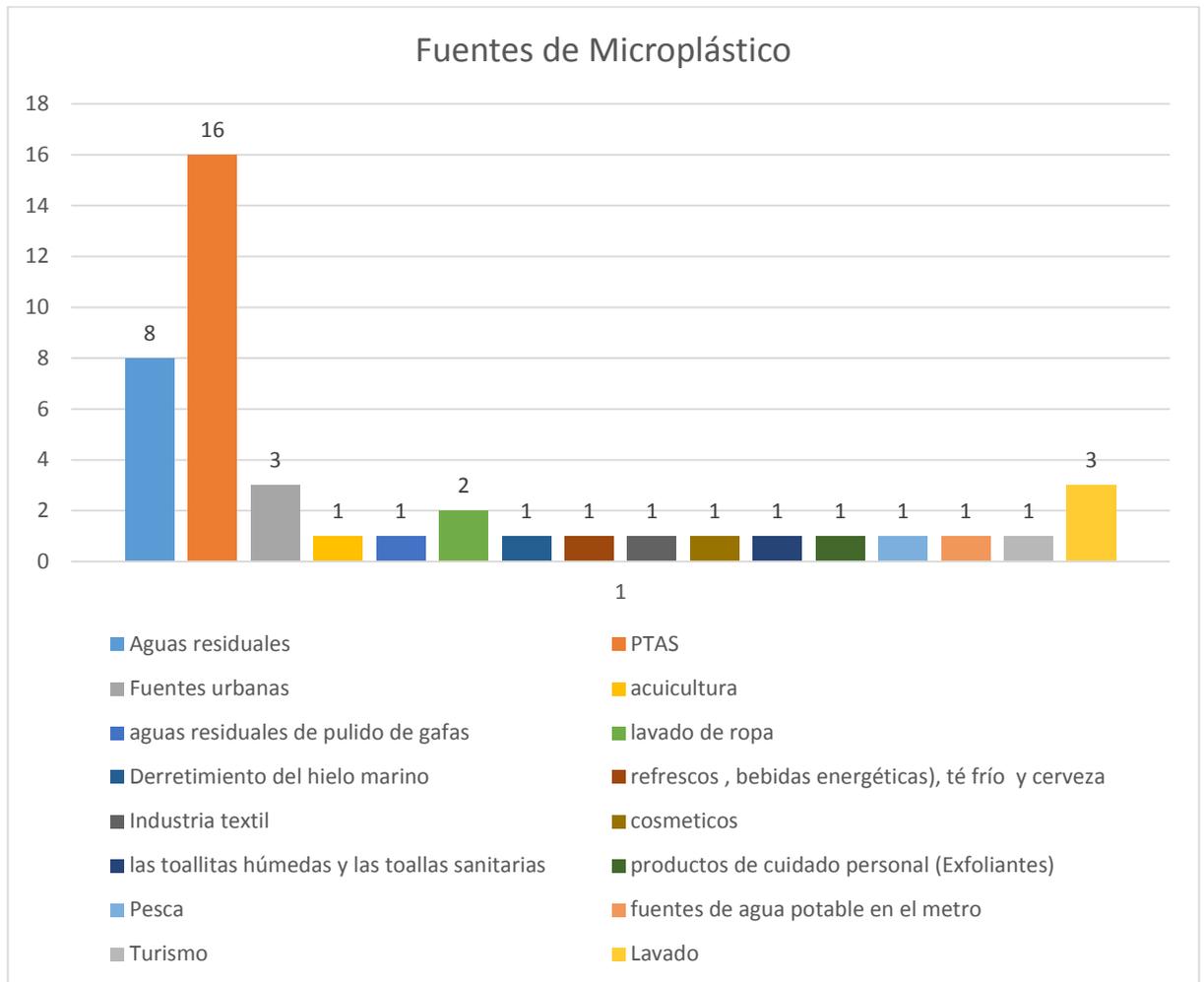


Figura 5 Cantidad de artículos por fuente de generación de microplástico

Fuente: Elaboración propia

En el Figura 6 se puede visualizar cierta agrupación de fuentes de generación para una mejor comprensión. Es importante tener en consideración que, si bien hay fuentes de microplásticos que se podrían seguir agrupando, estos tienen características que pueden ser analizadas independientemente apuntando directamente a la media de control que se podría proponer.

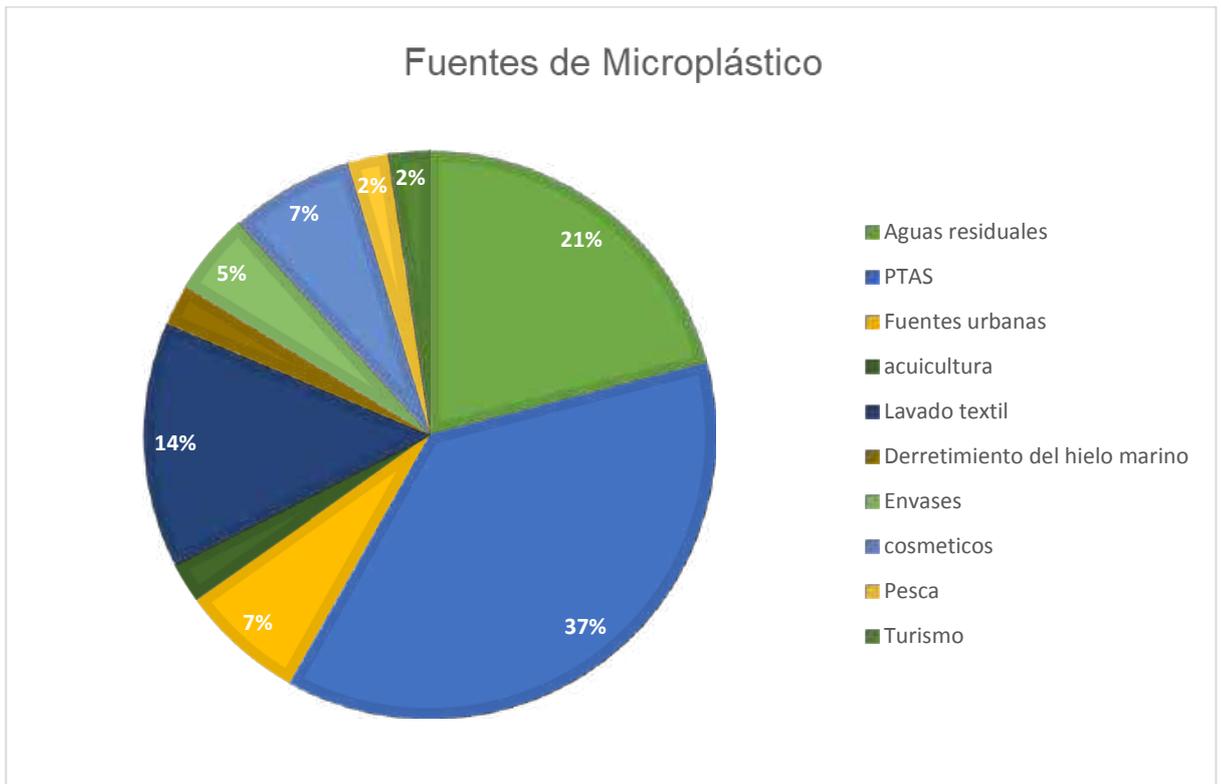


Figura 6 Agrupación de artículos por fuente de generación de microplásticos

Fuente: Elaboración propia

Los microplásticos en las aguas residuales domesticas como se ha visto anteriormente provienen de diferentes fuentes y una de ellas son los productos de cuidado personal y cosméticos, los cuales son fuentes importantes de microplásticos que son utilizados como materiales exfoliantes en jabones, exfoliantes faciales, shampoo, espumas de afeitar y pasta de dientes o como productos de belleza en forma de purpurina plástica. Los microplásticos que se agregan a estos productos pueden denominarse microperlas o incluso microesferas y en su mayoría están hechas de polietileno (Bretas Alvim et al., 2020).

Un ejemplo de esto es la evaluación que se realizó en la ciudad de Ljubljana (Eslovenia) con 300.000 habitantes, se liberan 112.500.000 microperlas por día en el río receptor después de la PTAS. Se estima que 100 ml del exfoliante facial pueden ser fuente de más de 1.300.000 partículas. Alrededor de 4.600-94.500 microperlas de polietileno pueden llegar al sistema de alcantarillado por aplicación de 5 ml de un exfoliante cutáneo y en cada aplicación de pasta de dientes (1,6 g de pasta de dientes) se pueden descargar alrededor de 4.000 fragmentos de polietileno (Bretas Alvim et al., 2020).

Otro tipo de microplástico que se encuentra comúnmente en las muestras de aguas residuales urbanas son las fibras textiles, las cuales se originan del lavado textil, representado por el 14% (n=6) de los estudios analizados. Las fibras pueden representar alrededor del 70% de los microplásticos en el afluente de las PTAS. El lavado de ropa sintética puede liberar a las aguas residuales más de 1.900 fibras de poliéster por lavado, una prenda de vellón (lana) podría liberar aproximadamente 110.000 fibras y 5 kg de tejidos de poliéster puede liberar alrededor de 6.000.000 de microfibras. A pesar de las grandes cantidades de fibras que se desechan en las PTAS, la cantidad depende de las propiedades del tejido, la temperatura, el tiempo y la velocidad de lavado, así como de los productos utilizados como detergentes y suavizantes (Bretas Alvim et al., 2020).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales se identifican como una fuente importante de microplásticos que son liberados al medio ambiente, ya sea al medio acuático como terrestre a través de los lodos, si bien tienen una

remoción del 66,1 y 62,7% en cuanto al medio acuático, es importante estudiar lo que sucede con los lodos y la disposición que tienen estos (Tang et al., 2020).

Todo esto va a depender del tipo de tratamiento que se les realice a las aguas residuales, y los resultados sugieren que el efluente terciario no es una fuente significativa de microplásticos y que estos contaminantes plásticos se eliminan eficazmente durante los procesos de tratamiento de desnatado y sedimentación. Sin embargo, en una planta secundaria de aguas, la mayoría de los microplásticos identificados en el estudio tenían un perfil (color, forma y tamaño) similar a las partículas de polietileno azul presentes en las formulaciones de pasta de dientes.

Los plásticos que ingresan a las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, en su mayor parte, difieren de los que comúnmente se desechan en los desagües pluviales, playas, océanos y lugares de agua dulce como lagos y ríos. Considerando como fuentes primarias de microplásticos en estos entornos se derivan principalmente de envases de consumo desechados (envases, bolsas, botellas) y basura industrial. En el ambiente abierto, estos plásticos sufren una fotodegradación inducida por la irradiación ultravioleta, así como por la erosión mecánica que conduce a la fragilidad y la fractura. Estos procesos de la degradación progresiva de los plásticos desechados están en su mayoría ausentes durante el tratamiento de aguas residuales (Carr et al., 2016).

El párrafo anterior es un punto importante de considerar al momento de proponer alguna medida de control, pero también es clave tener en cuenta el

escenario en el cual se encuentra Estados Unidos y eso va directamente relacionado a que en este país existe una ley enfocada a la prohibición del uso y la venta de cosméticos que contengan microplásticos (contenido que se verá en profundidad en el segundo objetivo de esta investigación).

Usos de Agua cuenca baja del Maipo

La utilización de aguas servidas tratadas abre las posibilidades de uso con fines productivos, e incluso para consumo humano como ocurre en países tales como Singapur, Israel o Australia. Dada la alta cobertura de saneamiento en zonas urbanas del país, existe una cantidad significativa de recurso hídrico disponible en aguas servidas tratadas. En total, en Chile se tratan cerca de 1.284 millones de m³ de aguas servidas al año, equivalentes a un caudal medio de 40,7 m³/s. Más de un 22% de estas son vertidas al mar, de las cuales 8,8 m³/s son descargadas mediante emisarios submarinos, los que sólo comprenden un tratamiento primario (*Mesa Nacional Del Agua-Primer Informe, 2020*). Esto representa un recurso significativo que podría ampliar la disponibilidad neta de agua en las cuencas, en la Tabla 6 se puede apreciar el volumen de las aguas tratadas en el año 2018, con esta información se puede dimensionar en cierta medida la gran cantidad de aguas tratadas.

Tabla 6 Volumen de las aguas tratadas en el año 2018 (millones de m³) distribuido por región y cuerpo receptor.

Región	Nº de Sistemas de Tratamiento	Volumen Total (Millones de m ³)	Destino Aguas Servidas Tratadas (Millones de m ³)		
			Cuerpo Fluvial o Lacustre	Mar	Riego o Terceros
Arica Y Parinacota	1	12,7	0,0	12,7	0,0
Tarapacá	7	23,5	0,0	19,1	4,5
Antofagasta	9	42,9	9,6	29,8	3,5
Atacama	9	18,0	15,6	1,0	1,5
Coquimbo	23	47,7	11,7	35,7	0,2
Valparaíso	33	138,7	35,3	103,4	0,0
Metropolitana	36	566,4	559,1	0,0	7,3
O'Higgins	24	48,7	48,7	0,0	0,0
Maule	31	85,1	85,1	0,0	0,0
Ñuble	17	27,3	27,3	0,0	0,0
Biobío	32	101,3	61,9	39,4	0,0
Araucanía	34	74,4	74,4	0,0	0,0
Los Ríos	11	20,8	20,8	0,0	0,0
Los Lagos	21	54,9	24,6	30,4	0,0
Aysén	8	6,1	5,8	0,3	0,0
Magallanes	3	15,0	0,0	15,0	0,0
TOTAL	299	1.284	980	287	17

Fuente: SISS, 2019

La cuenca baja del Maipo es la mayor receptora de las aguas tratadas del Gran Santiago, es por esto la importancia de ahondar en los usos de aguas del Río Maipo Bajo (entre río Mapocho y desembocadura). A continuación en las Figura 7 y Figura 8, se podrá visualizar los usos de aguas de la cuenca baja del Maipo informado por la DGA (Dirección General de Aguas), donde es importante dar énfasis al Río Maipo, el cual es principal receptor superficial de las aguas tratadas del Gran Santiago.

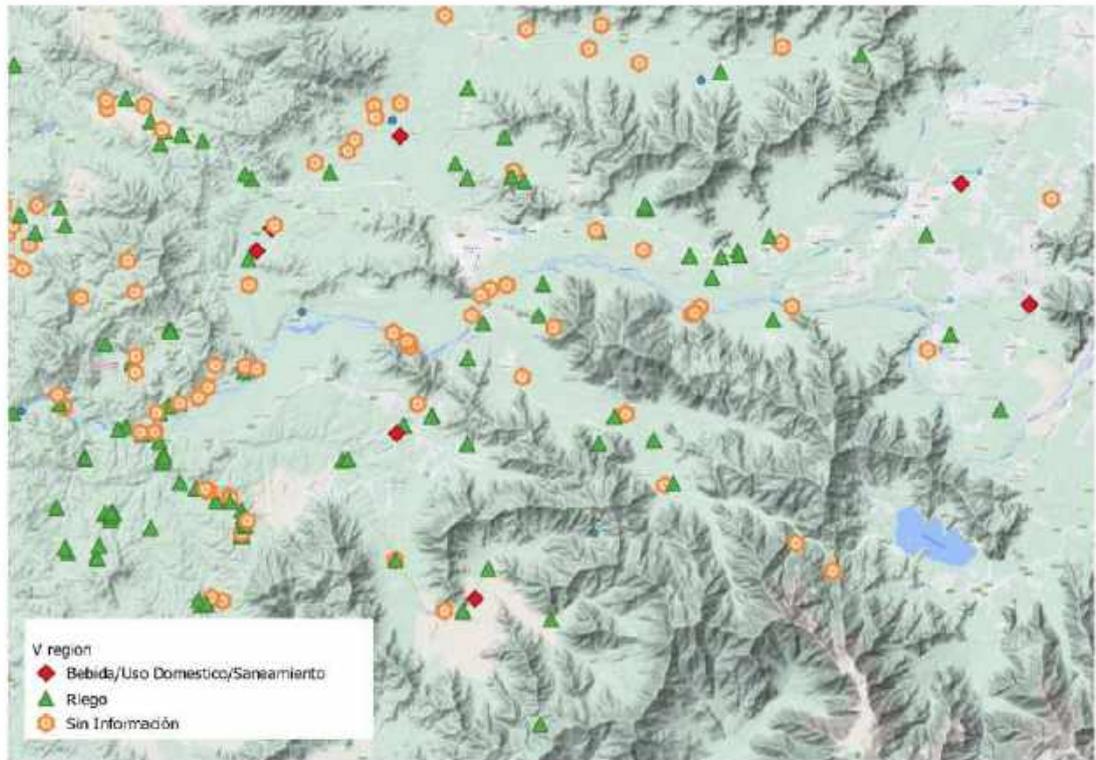


Figura 7 Primer tramo de la cuenca baja del Maipo, detallando el uso de agua del sector

Fuente: Elaboración propia

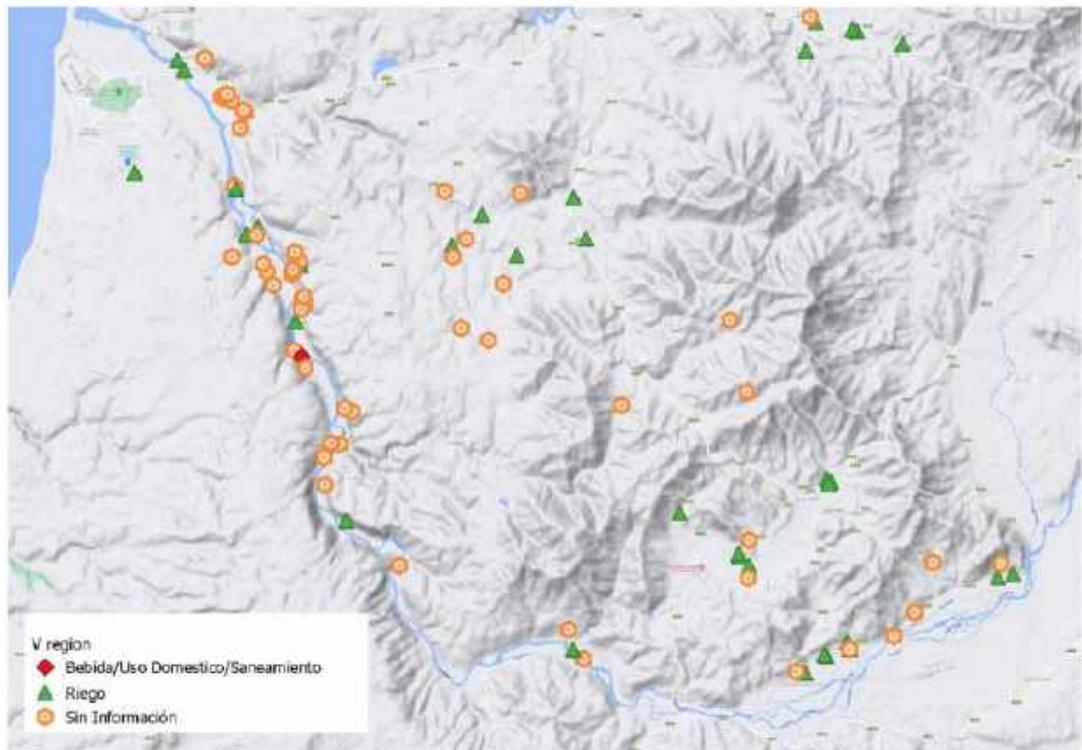


Figura 8 Segundo tramo de la cuenca baja del Maipo, detallando el uso de agua del sector

Fuente: Elaboración propia

Entre los usos informados está el de bebida/uso, doméstico/saneamiento, riego y gran parte de los datos entregados por la DGA es Sin Información, lo cual implica falta de información importante para realizar un análisis en profundidad. Sin embargo, la información entregada es de suma importancia en cuanto al escenario de las posibles vías de exposición de microplásticos en la cuenta baja del Maipo a través del riego, bebida y usos domésticos.

Los microplásticos pueden ingresar a los ecosistemas del suelo a través de rellenos sanitarios, películas de acolchado agrícola, riego de aguas residuales y otras fuentes. Según los usos de aguas informados se

encuentra en riesgo lo cual implica una preocupación, ya que la presencia de microplásticos en el suelo esta influenciada por varios factores, como la biota del suelo, las características de éste al igual que los microplásticos que se integran al suelo, y este a su vez con otros factores del suelo que pueden influir en la salud y función del suelo, debido a su capacidad de adsorción de contaminante peligrosos, lo que podría agravar la contaminación del suelo y aumentar los efectos adversos para los organismos y la salud humana. Además, los microplásticos son ingeridos por organismo del suelo y se transfieren a través de la cadena alimentaria, lo cual provoca daños tanto mecánicos como fisiológicos, por otro lado también se ve los posibles efectos sobre el crecimiento de las plantas y como se vio en el ítem de las plantas podían acumularse y transportarse a las diferentes estructuras de la plantas (Guo et al., 2020).

Es importante mencionar que el Rio Maipo presta servicios ecosistémicos dentro de toda la cuenca baja, destacando el humedal Ojos de Mar, ubicado en torno a la desembocadura y estuario del Río Maipo, de gran diversidad biológica y productividad, con importantes cuerpos de agua dulce rodeados de vegetación, de los que dependen numerosas especies, es una importante ruta de aves migratorias, área de amortiguación ante tsunamis y sumidero de CO₂, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. Las áreas verdes del humedal también proveen servicios de recreación, pesca y turismo a los habitantes locales, las que además poseen alto potencial para la educación ambiental, el desarrollo del sector turístico local y mejoramiento

de la calidad de vida de la comunidad en la comuna de San Antonio (Urrutia Barceló, 2021).

Sin lugar a duda se deben realizar mayores investigaciones en este campo, y la cuenca baja del Maipo se ve directamente afectada, ya que se encuentran las aguas tratadas generadas del Gran Santiago, las cuales según la bibliografía analizadas llevan microplásticos los cuales tienen una afectación en el medio en el cual se exponen.

Posibles efectos provocados por microplásticos

Una inquietud importante es saber si los microplásticos representan un riesgo para los ecosistemas y la salud humana, pero existe demasiada incertidumbre asociada con este tema, lo cual se expresa de manera explícita en gran parte de los artículos científicos analizados y consultados. Según lo mencionado anteriormente se hace necesario tener conocimiento sobre datos de los niveles de exposición y efecto de los microplásticos para evaluar el riesgo de los microplásticos para el medio ambiente y la salud humana.

En esta sección se analizaron 96 artículos científicos (resultados Rayyan), de los cuales solo 26 se incluyeron dentro del análisis que se desarrollará a continuación:

Los efectos adversos sobre los organismos expuestos a los microplásticos se clasificaron en tres categorías: efectos químicos, efectos físicos y potencial portador de patógenos, este último aún se está investigando y tiene una gran relevancia debido al escenario que nos encontramos

(pandemia). El primero está relacionado con los productos químicos peligrosos asociados con los microplásticos y el segundo está relacionado con el tamaño de las partículas, la forma y la concentración de los microplásticos.

1. Efectos Químicos

Los microplásticos pueden contener dos tipos de productos químicos: (i) aditivos y materias primas poliméricas (por ejemplo, monómeros u oligómeros) que se originan a partir de los plásticos y (ii) productos químicos absorbidos del ambiente circundante.

Los aditivos son productos químicos que se agregan intencionalmente durante la producción de plástico para dar cualidades plásticas como color y transparencia y para mejorar el rendimiento de los productos plásticos para mejorar tanto la resistencia a la degradación por ozono, temperatura, radiación de luz, moho, bacterias y humedad, resistencia mecánica, térmica y eléctrica. Incluyen cargas inertes o reforzantes, plastificantes, antioxidantes, estabilizadores UV, lubricantes, colorantes y retardadores de llama (Campanale et al., 2020).

Aunque estos aditivos mejoran las propiedades de los productos poliméricos, muchos de ellos son tóxicos y su potencial de contaminación del suelo, el aire y el agua es elevado, incrementando la variabilidad de contaminantes que no solo alteran la naturaleza del plástico, sino que pueden filtrarse al aire, el agua, alimentos y, potencialmente, tejido del cuerpo humano durante su uso o su eliminación, exponiéndonos así a varios productos químicos juntos (Campanale et al., 2020).

(i) Aditivos preocupantes

1.1. BPA

El BPA es un compuesto sintético a base de carbono con fórmula $C_{15} H_{16} O_2$ y una estructura que contiene dos grupos 4-hidroxifenilo, que le confieren un suave olor fenólico. El BPA es un plastificante común que se utiliza en la industria, especialmente en los procesos de fabricación de plásticos de policarbonato y envasado de alimentos. Los plásticos de policarbonato a base de BPA son robustos y estables porque pueden soportar la exposición a altas temperaturas y soportar colisiones de alto impacto (Campanale et al., 2020).

A principios de la década de 1930, Dodds y Lawson descubrieron que el BPA era estrogénico por sus propiedades de alteración hormonal en el cuerpo humano. Se ha confirmado que está asociado con la obesidad, las enfermedades cardiovasculares, los trastornos reproductivos y el cáncer de mama (Campanale et al., 2020).

1.2. Ftalatos

Su uso principal es como plastificantes que se agregan al material plástico básico para impartir cualidades específicas como flexibilidad y elasticidad a los polímeros plásticos.

Muchos ftalatos son disruptores endocrinos, que son sustancias químicas capaces de alterar el sistema hormonal del organismo humano y generar su disfunción, lo que puede llegar a causar diferentes enfermedades relacionadas con la salud reproductiva de la mujer (cáncer de mama, infertilidad, pubertad precoz, etc.), trastornos de la función reproductora

masculina (afecciones de próstata, pérdida de la calidad seminal, malformaciones congénitas del aparato reproductor), trastornos metabólicos (diabetes u obesidad), enfermedades neurológicas (trastornos del comportamiento, déficit de atención e hiperactividad, enfermedad de Parkinson, etc.), cáncer de tiroides o trastornos cardiovasculares (*Disruptores Endocrinos*, 2018).

1.3. Metales pesados

Uno de sus usos principales es como aditivos en productos poliméricos (por ejemplo, colorantes, rellenos y estabilizadores) durante el proceso de producción para aumentar las propiedades de los plásticos (Campanale et al., 2020). En la Tabla 7 se mencionan algunos de los efectos que provocan estos metales pesados (aditivo) en ciertos polímeros.

Tabla 7 posibles efectos provocados en la salud humana por los metales pesados en su papel de aditivo, detallando en tipo de polímero en los que están presente

Metales pesados	Aditivos	Tipo de polímeros	Efectos sobre la salud humana
Aluminio (Al)	Estabilizadores, pigmentos inorgánicos y retardadores de llama.	PBT, PET, PE, PVC	Metal-estrógeno; cáncer de mama
Cobalto (Co)	Pigmentos inorgánicos	Botellas de PET	Formación de especies reactivas de oxígeno (ROS); neurológico (por ejemplo, discapacidad auditiva y visual); déficits cardiovasculares y endocrinos.
Cromo (Cr)	Pigmentos inorgánicos	PVC, PE, PP	Reacciones alérgicas al cuerpo; úlcera del tabique nasal; efectos cardiovasculares, respiratorios, hematológicos, gastrointestinales, renales, hepáticos y neurológicos graves y posiblemente la muerte.

Fuente: (Campanale et al., 2020).

(ii) Interacción con el medio ambiente circundante

1.4. Compuestos orgánicos persistentes

Como se mencionó anteriormente los aditivos en los plásticos pueden causar efectos tóxicos, además se debe tener en consideración la capacidad de los microplásticos para acumular contaminantes orgánicos persistentes (COP) como los bifenilos policlorados (PCB), los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y los plaguicidas organoclorados como el diclorodifiniltricloroetano (DDT) o el hexaclorobenceno, donde estos pueden ser transferidos a animales marinos y posteriormente a los seres humanos. Las exposiciones directas a los COP y a otras sustancias asociadas a los microplásticos pueden afectar a los sistemas biológicos y plantear amenazas específicas para los seres humanos y animales jóvenes, incluso en dosis bajas (Smith et al., 2018).

1.5. Metales pesados

A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales pesados no se pueden degradar, lo que genera una gran disponibilidad debido a fuentes tanto naturales como antropogénicas. La bioacumulación de metales tóxicos a lo largo de la cadena alimentaria representa una grave amenaza para la salud humana, sin embargo la toxicidad de los metales pesados adsorbido por microplásticos está poco estudiada, además esto va a depender de la composición del microplástico, la modificación previa a largo plazo (por ejemplo, fotooxidación y desgaste de materiales cargados) que contribuye al envejecimiento de los plásticos hace que estas partículas envejecidas tengan una gran capacidad de absorción de metales (Wang et al., 2021).

2. Efectos físicos

Como se había mencionado anteriormente, los efectos físicos están relacionados con el tamaño de las partículas, la forma y la concentración de los microplásticos. Se abordarán a continuación:

2.1. Animales marinos

Dado que los océanos pueden servir como depósito final de desechos plásticos y ha sido el gran foco de investigación, existen numerosos estudios referentes a microplásticos que se han centrados en los impactos en la salud, utilizando animales marinos no mamíferos como modelos de investigación. Además, se debe tener en consideración que la gran parte de estos organismos son una fuente importante de alimento para los humanos, lo cual representan una vía de exposición directa a las partículas de plásticos.

Para conocer en detalle los efectos, éstos se encuentran en el anexo N °1, donde se detalla la especie, tipo de microplástico utilizado, efecto y referencia.

En la Tabla 8 se podrá apreciar, en resumen, según la información consultada, los animales marinos que estuvieron expuestos a partículas de plásticos de 20 nm – 2,4 mm tuvieron los siguientes efectos:

Tabla 8 Resumen de los efectos en los animales marinos de los microplásticos dimensión de 20 nm a 2,4mm

Tamaño partícula	Especie	Efectos
20 nm - 100 nm Principalmente PS (Poliestireno)	Carpa cruciana	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en la hora de comer • Cambios en la morfología del cerebro
	Medaka japonesa	<ul style="list-style-type: none"> • Experimentó estrés hepático después de ingerir fragmentos de polietileno virgen
	Pez cebra	<ul style="list-style-type: none"> • Histopatología hepática (signos de inflamación y acumulación de lípidos) • Interrupción de la homeostasis de la glucosa • Alteración del comportamiento de las larvas (hipoactividad de natación en larvas expuestas) • Aumenta los niveles de cortisol y la hiperactividad
	Pez dorado	<ul style="list-style-type: none"> • Inhiben el crecimiento de larvas de peces en niveles altos, aumento de la frecuencia cardíaca de las larvas y disminución de la velocidad de natación • Observaciones de cambios histopatológicos en el intestino, hígado y branquias, y daños a la piel y músculos
0,1µm - 500µm Principalmente PS (Poliestireno) y PE (Polietileno)	Almejas asiáticas de agua dulce	<ul style="list-style-type: none"> • Redujo la actividad de la colinesterasa y aumentó los niveles de LPO que sugieren daño oxidativo.
	Bagre africano	<ul style="list-style-type: none"> • Histopatología del hígado y las branquias • Cambio en la bioquímica sanguínea
	bivalvos de la especie Scrobicularia plana	<ul style="list-style-type: none"> • Indujeron un aumento constante de la actividad del superóxido dismutasa (SOD), así como un aumento de la actividad de la glutatión-S-transferasa (GST), lo que sugiere estrés oxidativo.
	Carpa	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en los niveles plasmáticos de varias enzimas metabólicas y marcadores inmunes • Reducen el peso y la longitud corporal de las larvas de carpa • Cambios histopatológicos en el hígado
	Medaka	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la mortalidad y disminución de la longitud y el peso promedio de larvas y peces adultos • Estrés oxidativo y daños estructurales en tejidos con acumulación de MP. • Disminución significativa de la producción de huevos por parte de las hembras • Alteración endocrina reproductiva en función del sexo.
	Mejillón azul	<ul style="list-style-type: none"> • Permanecer en el cuerpo
	<i>Oryzias latipes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuciones en el número de huevos en hembras maduras (depende de la dosis) • Enterocitos inflamados y alteraciones histológicas de la cavidad bucal, el riñón de la cabeza y el bazo.
	<i>ostra</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir significativamente el número de folículos y la motilidad de los espermatozoides en las ostras, así como la producción y el desarrollo de

		larvas.
	Pez cebra	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación a la baja de genes involucrados en el desarrollo y la función neuronales. • Alteraciones metabólicas
	Pez de roca negro	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en el comportamiento, reducción de la velocidad de natación de los peces • Mayor consumo de oxígeno y excreción de amoníaco, reducción del crecimiento y la reserva de energía
2,0 mm – 2,4mm	Ónix crepidulalos	<ul style="list-style-type: none"> • Causa un consumo de energía anormal

Fuente: Elaboración propia consultando artículos científicos (anexo N°1)

2.2. Animales terrestres

Es importante conocer los posibles efectos en los animales terrestres, pero de estos la gran parte de estudios se han centrado en lombrices de tierra y ratones. Para conocer en detalle los efectos, éstos se encuentran en el anexo N °1, donde se detalla la especie, tipo de microplástico utilizado, efecto y referencia.

En la Tabla 9 se podrá apreciar, en resumen, según la información consultada, los animales terrestres que estuvieron expuestos a partículas de plásticos de 0,5 µm - 200 µm tuvieron los siguientes efectos:

Tabla 9 Resumen de los efectos en los animales terrestres de los microplásticos dimensión de 20 nm a 2,4mm

Tamaño partícula	Especie	Efectos
20 nm a 2,4mm	Lombrices de tierra	<ul style="list-style-type: none"> • Provocó daños en la piel tras la exposición, resultó en un aumento de la actividad de catalasa y niveles de malondialdehído, lo que sugiere que los animales mostraron signos de estrés oxidativo. • Las partículas de plástico acumuladas no tuvieron efectos significativos en los organismos, ni mejoraron o debilitaron la bioacumulación de otras sustancias químicas.
	Ratones	<ul style="list-style-type: none"> • Signos de inflamación y acumulación de lípidos en el hígado • Permanecen en el hígado, los riñones y el intestino; trastornos del metabolismo energético y de los lípidos

		e inflamación del hígado <ul style="list-style-type: none"> • Disminución del peso corporal • Disminución de la secreción de moco en el intestino • Alteración de la microbiota intestinal • Cambios en la transcripción de genes relacionados con el metabolismo de los glicolípidos • La alta concentración de MP indujo la inflamación del intestino delgado • Sin consecuencias neuroconductuales significativamente mensurables en ratas, partículas de PS (25 y 50 nm)
--	--	--

Fuente: Elaboración propia consultando artículos científicos (anexo N°1)

2.3. Efectos en plantas terrestres y macrófitas acuáticas

Las nanopartículas de microplásticos pueden absorberse y acumularse dentro de las raíces y las hojas, e incluso trasladarse dentro de los tejidos vegetales. Un ejemplo de esto es que las plantas de cultivo *Triticum aestivum* (trigo) y *Lactuca sativa* (lechuga) pueden internalizar nanoperlas de PS de 200 nm y microperlas de polimetilmetacrilato de 2,0 µm. Las cuales pudieron penetrar a través de las raíces y luego de la raíz se transferiría al brote con la ayuda de la tracción transpiratoria, las raíces tienen un papel fundamental en cuanto a la internalización de los plásticos. El tamaño de las partículas juega un papel importante en la internalización de los plásticos. La acumulación de nanoplásticos en compartimentos celulares (vacuolas y citoplasma) en la epidermis de la raíz de la cebolla de jardín *Allium cepa* se explica por el pequeño tamaño de las partículas que pueden atravesar membranas. Sin embargo, en la actualidad se desconoce el punto de corte de la captación celular (Mateos-Cárdenas et al., 2021).

La adsorción e internalización de micro y nanoplásticos puede tener importantes implicaciones para el medioambiente. Las plantas y las algas

pueden explotarse como bioindicadores de los plásticos, lo que ayuda a identificar los puntos de gran concentración. Lo cual va relacionado con que las plantas pueden actuar como potenciales vectores que conducen la entrada de las partículas plásticas a las redes tróficas.

En cuanto a los efectos que tienen los microplásticos o nanoplásticos sobre las plantas, se dividen en 4 parámetros principales:

- Germinación: efectos negativos, retraso en la germinación, lo cual se puede explicar por el bloqueo de poros “capsula de semillas” o “en superficie de esporas” los cuales son efectos sobre la germinación causados por la presencia física de microplásticos, o son sustancias químicas que se filtran de estos plásticos responsables de los efectos observados. Si bien no se tiene real conocimiento de esto, lo que si hay que tener presente es que existe una afectación negativa hacia la germinación de la planta (Mateos-Cárdenas et al., 2021).
- Crecimiento de la elongación de las plantas: Se informan efectos negativos sobre el crecimiento de la elongación de las raíces, a pesar de las variaciones en el tamaño de las partículas de plástico (micro o nano) o en las concentraciones, aunque los plásticos tienen diversos impactos en el crecimiento de la elongación, en algunos casos una redirección del crecimiento entre la raíz y el brote, o entre el grosor de la raíz y el alargamiento de la raíz. Sin embargo, también se evidenciaron efectos mixtos (efectos positivos y negativos) sobre la morfología para muchos factores de estrés, incluidos los metales pesados, lo cual indicaría que los efectos de los microplásticos sobre

el crecimiento y desarrollo de las plantas comparte similitudes con los efectos de una amplia gama de otros factores estresantes (Mateos-Cárdenas et al., 2021).

- Biomasa vegetal: Se ha podido evidenciar que existirían efectos negativos como positivos, ya que se evidenciaba un aumento en la biomasa de las raíces, lo cual puede deberse a la competencia de las plantas por los nutrientes o el agua, cuya concentración biodisponible puede disminuir debido a la presencia de microplásticos. Lo que podría variar para diferentes especies de plantas, en cuanto a los efectos negativos está directamente relacionado a la respuesta al estrés, lo cual es la disminución en la biomasa de las plantas. Esto indicaría que no solo las propiedades de los plásticos, sino también las condiciones ambientales y la especie de la planta pueden ser determinantes del impacto de los plásticos en las plantas y macrófitas (Mateos-Cárdenas et al., 2021).
- Fotosíntesis: los impactos de los micro y nanoplásticos en la fotosíntesis son variables, ya sean sin ningún efecto aparente como efectos negativos sobre los parámetros de eficiencia fotosintética y el contenido de clorofila. En la actualidad hay poca información concreta sobre las razones de los resultados mencionados anteriormente, las variables asociadas a los resultados por lo que se necesitan mayores estudios comparativos que utilicen una variedad de plantas, diferentes plásticos y diferentes condiciones para comprender cómo los plásticos

pueden afectar la eficiencia fotosintética (Mateos-Cárdenas et al., 2021).

2.4. Efectos en humanos

Según los resultados ya evidenciados en esta investigación se entiende que el ser humano tiene una interacción con los microplásticos ya sea directa como indirectamente, teniendo puntos de entrada a nuestros organismos, los cuales puede ser por ingestión (alimentos que contengan microplásticos o por transferencia trófica), por inhalación o inclusive por contacto con la piel (Campanale et al., 2020).

Se espera que la ingesta humana anual de microplásticos a través del pescado sea de alrededor de 11.000 partículas por persona (europeos que consumen a menudo mariscos), mientras que la ingesta anual de partículas de plástico a través de la sal se aproxima a 37 partículas por individuo. La exposición atmosférica también está presente con 0,4 a 60 micropartículas de plástico/m³ en interiores y 0,3 a 1,5 micropartículas/m³ en exteriores, si bien se tienen ciertas estimaciones en cuanto a la ingesta humana, la información sobre la absorción y la translocación en animales o humanos es escasa (Prüst et al., 2020).

Tras la ingesta de microplásticos, aun se sigue estudiando el destino y los efectos que estos tendrían en el ser humano, pero se cree que solo los microplásticos de menos de 20 µm deberían poder penetrar en los órganos, y aquellos con un tamaño de aproximadamente 10 µm deberían poder acceder a todos los órganos, atravesar las membranas celulares, atravesar la barrera hematoencefálica y entrar en la placenta, asumiendo que una

distribución de partículas en tejidos secundarios, como el hígado, los músculos y el cerebro (Campanale et al., 2020).

Si bien es de suma importancia dar énfasis a este tipo de investigación, es difícil de evaluar en los seres humanos en sí. Se realizaron experimentos en células humanas, las cuales presentaron ciertos efectos. Para conocer en detalle los efectos, éstos se encuentran en el anexo N °1, donde se detalla modelos de células humanas, tipo de microplástico utilizado, captación celular, efecto (notas sobre observaciones toxicológicas) y referencia.

En la Tabla 10 se puede apreciar en resumen, según la información consultada, modelos de células humanas que estuvieron expuestos a partículas de plásticos tuvieron los siguientes efectos:

Tabla 10 Resumen de los efectos en modelos de células humanas, diferenciados por modelos de células humanas y propiedades de los MP/NP

Modelos de células humanas	Propiedades de los MP / NP utilizados	Notas sobre observaciones toxicológicas
Células monocíticas de sangre periférica humana (PBMC)	NP de PS carboxiladas (20-1000 nm)	• NP de 20 nm citotóxicas para las células U937 y THP-1
U937 (línea celular monocítica humana)		• NP de 20 nm estimularon la secreción de IL-8 en monocitos humanos e indujeron un estallido oxidativo medible en monocitos
Caco-2 (línea celular de adenocarcinoma colorrectal epitelial humano)	Partículas de PS (0,1 y 5 µm)	• Baja toxicidad sobre la viabilidad celular, el estrés oxidativo y la integridad y fluidez de la membrana • Alteración del potencial de la membrana mitocondrial
BEAS-2B (células epiteliales de pulmón humano)	MPs de PS (4,06 ± 0,44 µm a 1–1000 µg / cm ²)	• Efectos citotóxicos • Estrés oxidativo y respuestas inflamatorias • Alteración de la capa epitelial
BEAS-2B (células epiteliales bronquiales humanas)	Nanopartículas de PS	• PS NPs solo citotóxicos a concentraciones muy altas • Los análisis metabólicos revelaron cambios metabólicos relacionados con el estrés autofágico y del retículo endoplásmico (RE)
Hs27 (fibroblastos)	Nanopartículas de	• Estimulación de la producción de

humanos)	PS (100 nm a 5-75 µg / ml)	ROS. • Estrés genotóxico y daño del ADN medidos con el ensayo de micronúcleos de bloqueo de citocinesis (CBMN)
Efectos insignificantes o nulos		
Caco-2	NP de tereftalato de polietileno (PET) (ablación con láser, aproximadamente 100 nm)	• Sin efecto tóxico aparente • Nano-PET se internaliza en compartimentos endolisosomales • Nano-PET tiene una alta propensión a cruzar el modelo de barrera intestinal Caco-2
Línea monocítica Caco-2 THP-1	Micropartículas de PS (1, 4 y 10 µm)	• Sin pérdida pronunciada de la viabilidad celular excepto solo con dosis muy altas de micropartículas de 1 µm • La absorción de micropartículas no afectó la diferenciación o polarización de los macrófagos
Caco-2 y HT29-MTX-E12 (célula epitelial del colon humano) cocultivo	Nanopartículas de PS modificadas con carboxi (50 nm y 0,5 µm,	• No hay citotoxicidad significativa a menos que sea en concentraciones muy altas
BeWo b30 (célula trofoblástica placentaria humana)		• No hay transporte significativo a través de las "barreras" intestinales y placentarias in vitro, pero se observó distribución intercelular

Fuente: Elaboración propia consultando artículos científicos (anexo N°1)

Se necesita más investigación para tener una real evaluación de riesgos del impacto de los microplásticos en la salud humana, es importante mencionar que se han detectado varios microplásticos en las heces humanas, lo que sugiere que los microplásticos pueden ingresar al cuerpo a través del sistema digestivo y excretarse en las heces (Jiang et al., 2020).

Es importante tener en consideración que estos experimentos son en un ambiente controlado, es decir, se suministra una gran cantidad de microplásticos en periodos de tiempos determinados, lo cual no representa la exposición real en el medioambiente ya que no hay una interacción con el entorno y según la bibliografía revisada, no está claro si las partículas realmente llegaron a los tejidos/circulación sistémica, si las partículas

pueden ser excretadas o eliminadas posteriormente, y cómo la captación y la distribución se relacionan con el efecto neurotóxico.

3. Potencial portador de patógenos

Estudios realizados indican que bacterias pueden adherirse y crecer en varias superficies de plásticos en ambientes acuáticos o en otras condiciones ambientales. Existe un concepto de “plastisfera” la cual apunta a que los plásticos funcionan como hábitats y son rápidamente colonizados por microorganismos. La plastisfera es la capa de vida microbiana que se forma alrededor de la pieza de plástico flotante. Por lo que se piensa que no solo pueden servir como un nuevo microhábitat para la colonización de biopelículas, sino también aumenta la probabilidad de propagación de patógenos (Wang et al., 2021).

Recientemente, un estudio sobre COVID-19 en superficies contaminadas y en aerosoles sugiere que las personas pueden adquirir el coronavirus a través del aire y después de tocar objetos contaminados. El virus fue detectable durante hasta tres horas en aerosoles, hasta cuatro horas en cobre, hasta 24h en cartón y hasta dos o tres días en plástico y acero inoxidable. Esto ha planteado una pregunta sobre el riesgo potencial de enfermedades transmitidas por el aire por coronavirus y virus de la gripe a través de microplásticos y nanoplásticos en aire contaminado (Wang et al., 2021).

Analizar normativa ambiental nacional e internacional aplicable a microplásticos.

1. Chile

En Chile hay legislación aplicable a plásticos no así para microplásticos, las cuales son:

- Ley 21100, Bolsas plásticas; *“Prohíbe la entrega de bolsas plásticas de comercio en todo el territorio nacional”*

A partir del 3 de febrero de 2019, los supermercados y el *retail* ya no pueden entregar bolsas plásticas en todo el país, mientras que los pequeños y medianos negocios se sumaron a esta medida desde el 3 de agosto de 2020.

Se excluyen de esta prohibición las bolsas que constituyan el envase primario de alimentos, que sea necesario por razones higiénicas o porque su uso ayude a prevenir el desperdicio de alimentos (MMA, 2018).

- Ley 21368, regula la entrega de plásticos de un solo uso y las botellas plásticas

Con fecha 13 de agosto de 2021, se publicó la Ley N° 21.368 que regula la entrega de plásticos de un solo uso y las botellas plásticas. La Ley tiene por objeto proteger el medio ambiente y disminuir la generación de residuos, mediante la limitación en la entrega de productos de un solo uso en establecimientos de expendio de alimentos, el fomento a la reutilización y la certificación de los plásticos de un solo uso, y la regulación de las botellas plásticas desechables (MMA, 2021b).

A continuación, se detallan criterios importantes de la Ley:

- Se prohíbe la entrega de plásticos de un solo uso, a cualquier título, para consumo dentro de establecimientos de expendio de alimentos. Para el consumo fuera de ellos, se dispone que los productos deberán ser entregados en envases desechables de materiales distintos del plástico o certificado por el Ministerio de Medio Ambiente como compuesto por un porcentaje de plástico recolectado y reciclado dentro del país. Sin perjuicio de lo anterior, se establece una prohibición absoluta de entrega de bombillas, revolvedores, cubiertos (tenedor, cuchara y cuchillo) y palillos de plástico. Estas obligaciones empezarán a regir en un plazo de 3 años desde la publicación de la Ley, con excepción de los productos de poliestireno expandido y de la prohibición absoluta, que entrarán a regir el 13 de enero del 2022.
- Las botellas plásticas desechables que se comercialicen por cualquier persona natural o jurídica deberán estar compuestas por un porcentaje de plástico que haya sido recolectado y reciclado dentro del país, en las proporciones que determine el reglamento de la Ley.
- Establece la obligación de los comercializadores de bebestibles de ofrecer sus productos en botellas retornables y a recibir de los consumidores esos envases. Además, deberán sensibilizarlos respecto de la importancia de la retornabilidad de la botella. Esta obligación entrará a regir el 13 de enero de 2022 para supermercados y 13 de agosto de 2023 para los demás comercializadores.

- Prohíbe que las entregas a domicilio de alimentos preparados entreguen en plásticos, salvo que se trate de plásticos compostables certificados (MMA, 2021a).
- Entrega a las Municipalidades la labor de fiscalización del cumplimiento de sus disposiciones, pudiendo el Juzgado de Policía Local de la comuna sancionar su infracción con multa a beneficio municipal de entre 1 a 5 UTM por cada producto entregado o que no cuente con la certificación correspondiente. En el caso de la infracción a la regulación de las botellas plásticas, la multa puede ir de entre 1 a 20 UTM por cada día en que no se encuentren disponibles para su venta en formato retornable.

Se establecen metas de porcentaje de plástico reciclado en el país que deberán incorporarse a las botellas plásticas en gradualidades, hasta llegar a un 60% el año 2050 (MMA, 2021b)

Es importante destacar que dentro de las páginas del Ministerio de Medio Ambiente se mencionan datos proporcionados por un reporte realizado por Oceana y Plastic Ocean, donde se estableció que en Chile se generan al año 23.240 toneladas de plásticos de un solo uso, provenientes de locales de venta de alimentos como bares, cafeterías y entregas a domicilio. Es apropiado identificar que, gracias a investigaciones realizadas por ONGs esta ley se concretó (MMA, 2021a)

Como se indicó anteriormente, en Chile existe normativa aplicable a plásticos, no hay normativa exclusiva de microplásticos. Aunque los plásticos tienen el potencial de convertirse en microplásticos secundarios por factores

ambientales que puedan alterar su composición física, estos no se consideraron dentro de la presente investigación, ya que el foco del estudio estuvo en microplásticos primarios y fibras que son liberados al medio ambiente a través de las aguas servidas del Gran Santiago.

A nivel mundial nos podemos encontrar con otro escenario, se encuentra normativas restrictivas en cuanto a la generación de microplásticos, como las que se mencionan a continuación:

2. Estados Unidos

El 18 de diciembre de 2015, el Congreso modificó la Ley Federal de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos (FD&C Act) aprobando la Ley de Aguas Libres de Microperlas de 2015, prohibiendo la fabricación, el envasado y la distribución de cosméticos con aclarado que contengan microperlas de plástico.

Esta nueva ley también se aplicó a los productos que son tanto cosméticos como medicamentos sin receta (también llamados "de venta libre" o "OTC"). Varios estados ya habían prohibido los productos que contienen microperlas. Dado que las leyes de los distintos estados son diferentes, el Congreso consideró necesario contar con una única ley federal de aplicación nacional (FAQs | FDA, 2015).

Microbead-Free Waters, aprobada en 2015, define los microplásticos prohibidos por esta ley, con el término "microperlas de plástico" siendo cualquier partícula de plástico sólido que sea de:

- 5 milímetros o menos de tamaño, y destinado a ser utilizado para exfoliar o limpiar el cuerpo o cualquier parte del cuerpo.

La ley cubre, de este modo, los cosméticos con “enjuague”, incluida la pasta de dientes, que contienen microperlas añadidas intencionalmente destinado a exfoliar o limpiar el cuerpo.

También establece fechas límites para los cosméticos de enjuague y para los cosméticos de enjuague que también son medicamentos sin receta.

Para cosméticos de enjuague:

- La fecha límite es el 1 de julio de 2017 para detener la fabricación de los productos descritos en la ley.
- La fecha límite es el 1 de julio de 2018 para detener la introducción o entrega para la introducción de estos productos en el comercio interestatal.

Para los cosméticos de enjuague que también son medicamentos sin receta:

- El 1 de julio de 2018 para dejar de fabricar los productos descritos en la ley.
- El 1 de julio de 2019 para detener la introducción o entrega para la introducción de estos productos en el comercio interestatal (Congress, 2016).

El proceso que condujo a la legislación estadounidense comenzó con organizaciones de todo el mundo y se relacionaban con la industria (McDevitt et al., 2017), en el Anexo 2 se puede conocer mayor detalle.

3. Canadá

En el 2015 el gobierno federal de Canadá anuncio la intención de prohibir las microperlas que se utilizan en los productos para el cuidado personal, luego de que una revisión científica descubrió que las diminutas partículas representan un riesgo potencial para el medio ambiente. La ministra de Trabajo y Condición de la Mujer, en ese entonces Kellie Leitch, realizó ese anuncio a orillas del lago Ontario en Toronto, indicando que la decisión se tomó después de que Environment Canada completara una revisión de más de 130 artículos científicos y consultara a expertos en varios campos (*Ottawa Plans to Ban Microbeads over Environmental Concerns | CTV News*, 2015).

En conformidad con la Ley Canadiense de Protección Ambiental de 1999, el Ministro de Medio Ambiente publicó en la Gaceta de Canadá (periódico oficial del Gobierno de Canadá), Parte I, el 5 de noviembre de 2016, una copia del Reglamento propuesto sobre microperlas en artículos de tocador, las personas tuvieron la oportunidad de presentar comentarios con respecto al Reglamento propuesto o presentar una notificación de objeción solicitando que se establezca una junta de revisión y exponiendo las razones de la objeción.

El Gobernador indica que el Reglamento propuesto no regula un aspecto de una sustancia que esté regulada por o bajo cualquier otra Ley del Parlamento, la opinión del Gobernador en el Consejo apunta a que no existe una protección suficiente para el medio ambiente y la salud humana, por lo

tanto, Su Excelencia el Gobernador General del Consejo, por recomendación del ministro de Medio Ambiente y el ministro de Salud, da conformidad que la Ley de Protección Ambiental de Canadá de 1999, hace que las microperlas se consideren dentro del Reglamento de artículos de tocador (Government of Canada, 2018)

A partir del 1 de enero de 2018, a través de la regulación canadiense Microbeads in Toiletries, está prohibida la fabricación e importación de productos de cuidado personal que contengan microperlas de 5 mm o menores.

Algunas definiciones que se aplican al reglamento son:

- Microperlas: las microperlas de plástico están establecidas en el ítem 133 de la Lista de Sustancias Tóxicas en el Anexo 1 de la Ley Canadiense de Protección Ambiental de 1999 (microbilles)(Government of Canada, 2018)
- Artículos de tocador: cualquier producto personal para el cuidado del cabello, la piel, los dientes o la boca para la limpieza o la higiene, incluidos los exfoliantes (produit de toilette)(Government of Canada, 2018)
- Hay excepciones, estas Regulaciones no se aplican a algunos medicamentos recetado, estos se especifican en las Regulaciones de Alimentos y Medicamentos.
- En cuanto a la fabricación e importación: No se debe fabricar ni importar artículos de tocador que contengan microperlas, a menos que los artículos de tocador también sean productos naturales para la

salud o medicamentos de venta libre, en cuyo caso la prohibición se aplica a partir del 1 de julio de 2018.

- Las ventas: No se debe vender artículos de tocador que contengan microperlas a partir del 1 de julio de 2018, a menos que los artículos de tocador también sean productos naturales para la salud o medicamentos de venta libre, en cuyo caso la prohibición se aplica a partir del 1 de julio de 2019 (*Most Toiletries with Microbeads No Longer for Sale in Canada | CTV News, 2018*).

4. Reino Unido

Es importante mencionar que el gobierno del Reino Unido se comprometió por primera vez a prohibir las microperlas de plástico en septiembre de 2016, luego de una prohibición estadounidense en 2015 (*Plastic Microbeads Ban Enters Force in UK | Plastics | The Guardian, 2018*)

El Reglamento de Protección Ambiental (Microperlas) (Inglaterra) de 19 de diciembre del año 2017, entro en vigor después de 21 días que se dictó, es decir, el 9 de enero del 2018. Este reglamento se extiende a Inglaterra y Gales, pero se aplican solo en relación con Inglaterra (England Government, 2017).

El Parlamento del Reino Unido tiene dos Cámaras que trabajan en nombre de los ciudadanos del Reino Unido para verificar y desafiar el trabajo del gobierno, hacer y dar forma a leyes efectivas y debatir (*UK Parliament, n.d.*)

De acuerdo con lo anterior, un día antes de la publicación del reglamento se realizó un debate, con la finalidad de aprobar el proyecto de Reglamento presentado a la Cámara el día 27 de noviembre, tuvo la participación de actores claves para abordar las dimensiones que éste iba abordar. Cabe mencionar la intervención de Baronesa Jones de Whitchurch, la cual menciona que fue la primera persona en plantear el tema de las microperlas en la Cámara hace varios años atrás, donde se dio a conocer por primera vez de que este plástico no era solo un problema ambiental, en realidad se estaba metiendo en la cadena alimentaria y potencialmente contaminando su cena de pescado (England Government, 2017), en el Anexo 2 se puede encontrar de forma explícita lo que expreso en esa oportunidad.

Algunas definiciones que se aplican al reglamento son:

- Microperlas: cualquier partícula de plástico solido insoluble en agua de menos o igual a 5mm en cualquier dimensión
 - Producto de cuidado personal: cualquier sustancia, o mezcla de sustancias, fabricadas con el fin de ser aplicada a cualquier parte relevante del cuerpo humano en el transcurso de cualquier tratamiento de cuidado personal, mediante una aplicación que conlleva, al finalizar, la eliminación rápida y específica del producto (o cualquier residuo del producto) mediante el lavado o el aclarado con el agua, en lugar de dejar que se desvanezca o se lave, o se absorba o se desprenda, con el paso del tiempo; y para ello
- (a) Un “tratamiento de cuidado personal” es cualquier proceso de limpieza, protección o perfumado de una parte relevante del cuerpo

humano, manteniendo o restaurando su condición o cambiando su apariencia.

(b) Una “parte relevante del cuerpo humano” es

- (i) cualquier parte externa del cuerpo humano (incluida cualquier parte de la epidermis, el sistema capilar, las uñas o los labios)
- (ii) los dientes; o
- (iii) las membranas mucosas de la cavidad oral

• En cuanto a las infracciones:

(1) una persona que, en la fabricación de cualquier producto de cuidado personal con aclarado, utilice microperlas como ingrediente de dicho producto es culpable de delito

(2) la persona que suministre, o que ofrezca a suministrar, cualquier producto de cuidado personal con aclarado que contenga microperlas es culpable de delito

(3) la persona culpable de infracción en virtud (1) y (2) podrá ser condenada a una multa en caso de condena sumaria

Después de este reglamento el gobierno de Reino Unido se comprometió a explorar otras fuentes de microplásticos que ingresan al entorno marino, el gobierno prometió £ 200,000 (alrededor de 224 millones de pesos) para que los científicos de la Universidad de Plymouth exploraran cómo pequeñas partículas de plástico de neumáticos, materiales sintéticos de poliéster e implementos de pesca, como redes, cuerdas y líneas, ingresan a vías fluviales y océanos (*World Leading Microbeads Ban Comes into Force - GOV.UK*, 2018).

Esto va en sinergia a lo que plantea el gobierno de Reino Unido con un Plan medioambiental de 25 años, *“Un futuro verde: nuestro plan de 25 años para mejorar el medio ambiente”, establece lo que haremos para mejorar el medio ambiente, dentro de una generación*”. Donde se plantea en la minimización de desperdicios:

- Trabajar para lograr el objetivo de eliminar los desechos plásticos evitables para fines de 2042
- Reducir significativamente y, en la medida de lo posible, prevenir todo tipo de contaminación plástica marina, en particular el material que proviene originalmente de la tierra (*At a Glance: Summary of Targets in Our 25 Year Environment Plan - GOV.UK, n.d.*).

5. México

A fines del año 2017, en virtud de las recientes legislaciones en otros países motivaron una revisión de regulaciones existentes en México, comparándose con el país vecino, seguir los pasos de Estados Unidos y otras naciones que han prohibido el uso de microplásticos en productos para el cuidado personal, en México una iniciativa de reforma a la Ley General de Salud busca prohibir la venta, manufactura y distribución de productos cosméticos y de higiene personal que contienen microplásticos por ser componentes que dañan el medio ambiente y ponen en riesgo la salud de las personas

Es importante tener en consideración que en este país la industria cosmética y de cuidado personal tiene un valor de mercado de US\$ 9,000 millones, según datos de la Cámara Nacional de la Industria de Productos Cosméticos. Las compañías más importantes del sector tienen unidades de

producción y venta en territorio mexicano como Henkel, P&G, L'Oréal, Unilever, Natura, Johnson & Johnson, Revlon, Coty, Beiersdorf, Avon, Estée Lauder, por mencionar las más conocidas. Este es un sector que representa 2.14% del PIB manufacturero y es superavitario, ya que durante 2016 se exportaron US\$ 2,561.7 millones y se importaron US\$ 1,496 millones, siendo México el primer exportador en América Latina (*México va Contra Los Microplásticos*, 2017).

En ese entonces el legislador Raúl Gracia (senador) indica que hoy existe información suficiente de otras regiones del mundo para utilizarla como referencia y dimensionar el problema en el país. *“En México, no existe en la regulación federal una prohibición para la fabricación y distribución de productos cosméticos que contengan microesferas de plástico y al tratarse de un descubrimiento reciente, hay nula información sobre el daño que tenemos en nuestros mares, sin embargo, en el resto del mundo este daño ha sido comprobado y México no tendría por qué ser la excepción”*, advierte el legislador.

Por ello su propuesta fue la modificar el artículo 269 de la Ley General de Salud para prohibir la venta, manufactura y distribución de productos cosméticos que contengan microplásticos (*México va Contra Los Microplásticos*, 2017).

En la actualidad la iniciativa se encuentra en comisiones para ser analizada y votada, a la fecha se han ingresado dos iniciativas que adiciona el artículo 269 de la Ley General de Salud.

En el Palacio Legislativo de San Lázaro el día 27 de febrero de 2020, se presenta en detalle los antecedentes sobre la exposición de microplásticos y los impactos que estos ocasionan en el medio ambiente (Ninla Elmawati Falabiba et al., 2020), en el Anexo 2 se puede encontrar los estudios que respaldan los impactos y la modificación propuesta para el artículo 269.

Posteriormente en la Cámara de Diputados del honorable Congreso de la Unión el día 30 de abril de 2021, se detallan antecedentes de los microplásticos y los impactos que estos ocasionan en el medio ambiente (Tiara Dewi, Muhammad Amir Masruhim, 2021), en el Anexo 2 se puede encontrar los estudios que respaldan los impactos, leyes internacionales que regulan estas materias, junto a la propuesta para el artículo 269.

La Ley General de Salud Federal vigente, con modificaciones (última actualización 12 de octubre de 2021). Artículo 269 indica lo siguiente:

Para los efectos de esta Ley, se consideran productos cosméticos las sustancias o formulaciones destinadas a ser puestas en contacto con las partes superficiales del cuerpo humano: epidermis, sistema piloso y capilar, uñas, labios y órganos genitales externos, o con los dientes y mucosas bucales con el fin exclusivo o principal de limpiarlos, perfumarlos, ayudar a modificar su aspecto, protegerlos, mantenerlos en buen estado o corregir los olores corporales o atenuar o prevenir deficiencias o alteraciones en el funcionamiento de la piel sana.

No se considerará producto cosmético una sustancia o mezcla destinada a ser ingerida, inhalada, inyectada o implantada en el cuerpo humano.

La secretaría dará a conocer mediante Acuerdo o listados todas aquellas sustancias restringidas o prohibidas para la elaboración de productos cosméticos.

En la elaboración de productos cosméticos se podrán utilizar de manera inmediata aquellas sustancias que hayan sido evaluadas y aprobadas por la Secretaría, independientemente de su posterior inclusión en el Acuerdo o listados para uso general (El Consejo de Salubridad General, 2021).

Si bien aún no se abordan los microplásticos en el Artículo 269, se encuentra en evaluación, lo cual indica una preocupación y una posible actualización de éste, esto aún no ha ocurrido en Chile.

Es importante destacar que los estudios en esta materia fueron claves para impulsar estas leyes, los cuales daban una primera aproximación de los posibles impactos que podrían ocasionar, entre los cuales podemos destacar: Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks (2011), Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition (2011) y Classify plastic waste as hazardous (2013)

En Chile aún faltan bastantes estudios asociados a microplásticos, los cuales tuvieron un papel fundamental al momento de respaldar las normativas en los países anteriormente analizados.

Propuestas de medidas de control ante la presencia de microplásticos en los cuerpos de agua para el Gran Santiago.

1. Plantas de Tratamientos de Aguas Servidas

Como primer paso a evaluar son las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS), considerando el gran % de resultados en cuanto a las fuentes de microplásticos (objetivo N°1), si bien las PTAS son un punto clave para la remoción de partículas de microplásticos (MP) antes de que se descarguen en ambientes acuáticos, se debe tener en consideración que las PTAS son capaces de eliminar cantidades sustanciales de partículas MP más grandes, éstas no son capaces de captar partículas de menos de 100 µm, donde la cantidad de MP de este tamaño tienden a tener cantidades similares entre el afluentes y efluentes (Freeman et al., 2020).

Una sola PTAS puede liberar más de 100 mil millones de partículas de MP al año, lo cual contribuye de manera significativa al problema de liberación de MP al medio ambiente (Freeman et al., 2020). En este caso sería al Rio Mapocho para después pasar al Rio Maipo el cual llega al Océano Pacifico. Es importante analizar tasas de remoción de MP para diferentes PTAS y etapas de tratamiento, en Tabla 11 se detalla la tasa de eliminación dependiendo el nivel de tratamiento de la PTAS.

Tabla 11 Tasa de eliminación según el nivel de tratamiento de las Plantas de Tratamientos de Aguas Servidas

Sitios de PTAS	Nivel de tratamiento	Tasa de eliminación
Holanda	Terciario	72%
Dinamarca	Terciario	99,7%
Australia	Terciario	>90%
	Secundario	29%
	Primario	17%
Alemania	Terciario	97%
EE. UU	Terciario	99%

	Secundario	96%
Reino Unido	Secundario	98%
	Primario	78%
Finlandia	Terciario	99,8%

Fuente: (Freeman et al., 2020)

Actualmente en Chile no existen políticas o regulaciones que requieran la remoción de MP durante el tratamiento de aguas residuales (en Chile los MP no son considerado un contaminante, ya que no está regulado) pero es una preocupación actual que hace pensar en tecnología que se podría incorporar a la infraestructura de las sanitarias. Existe tecnologías prometedoras que pueden mejorar la eliminación de las partículas MP de las aguas residuales. Algunas de las tecnologías son: Reactor Biológico de Membrana (MBR), Filtro Rápido de Arena (RSF), Flotación de Aire Disuelto (DAF) y Filtración de Microscreen con Filtros de Disco (DF), si bien estas fueron eficientes para eliminar partículas mayores a 100 μm , pero generalmente ineficaces para las fibras. MBR combina el procesamiento biológico de sustancias orgánicas y nutrientes en la materia prima cruda con la filtración a través de membranas para reducir la carga de partículas y microbios en los pasos de tratamiento posteriores. Aunque este proceso es muy eficiente (el 99,9% de todos los MP se eliminan de las aguas residuales tratadas), algunas partículas (especialmente las fibras) tienden a atravesar. El RSF captura partículas cuando el efluente secundario de las aguas residuales tratadas pasa a través del medio de arena donde las partículas recolectadas (incluidas las MP) se eliminan mediante un retrolavado de la arena; este proceso puede eliminar hasta el 97%. La DAF consiste en bombear aire al efluente

secundario para hacer que las partículas y la materia orgánica disuelta floten de modo que puedan eliminarse de la capa de “escoria” de la superficie, eliminando así hasta el 95% de los PM de las aguas residuales tratadas. La filtración de micropantallas utiliza DF dedicados para eliminar las partículas del efluente secundario de aguas residuales tratadas mediante una simple filtración mecánica y recolección de la materia particulada recolectada después del retrolavado de los filtros. Este proceso de filtración puede eliminar entre el 40 y el 98,5% de los PM de las aguas residuales tratadas. MBR y DAF son costosos de operar debido a los altos costos de capital u operativos y consumo de energía. Los sistemas MBR tienen costos de mantenimiento particularmente altos debido a problemas de incrustaciones y bioincrustaciones. También se descubrió que DAF no era adecuado para grandes PTAS (Freeman et al., 2020).

A continuación, en la Tabla 12 se realizará una descripción general de las tecnologías para la eliminación de MP dentro de las PTAS junto con sus ventajas y desventajas.

Tabla 12 Ventajas y desventajas según la tecnología utilizada para la remoción de microplásticos.

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Reactor biológico de membrana (MBR)	Se informó una tasa de eliminación del 99,9%.	Costosos, de incrustaciones y bioincrustaciones, ineficaz para eliminar partículas <20–100 µm y fibras, alto costo de capital, alto requerimiento de energía.
Filtro de arena rápido (RSF)	Tasa de eliminación reportada del 97.0%	Ineficaz para eliminar partículas <20–100 µm y fibras
Flotación por aire disuelto (DAF)	Tasa de remoción reportada del 95%	Ineficaz para eliminar partículas <20–100 mm y fibras.

		No se puede implementar en grandes PTAS. Costos de capital y operativos costosos.
Filtración de disco (DF)	Tasa de eliminación notificada del 40 al 98,5%	Ineficaz para eliminar partículas <20–100 µm y fibras.
Electrocoagulación	Tasa de remoción reportada del 99.24% a pH = 7.5	Experimental (a escala de laboratorio) Aplicable solo para perlas. Requiere un ajuste costoso y continuo del pH y la corriente eléctrica. Es posible que no se pueda implementar en plantas de tratamiento de aguas residuales de gran caudal.
Sistema de filtración accionado por gravedad	Diseñado específicamente para la eliminación de MP	Experimental (a escala de laboratorio) Aún no probado en aguas residuales tratadas real.
Membranas dinámicas (DM)	Baja resistencia a la filtración y baja presión transmembrana; se limpia fácilmente	Eficacia incierta, consumo energético potencialmente elevado.
Mejora de la floculación / coagulación.	Hasta un 40% de eficiencia de eliminación	Experimental (a escala de laboratorio) Aplicable para perlas, aumento del ensuciamiento de la membrana en los pasos posteriores, baja tasa de eliminación. Fue probado solo a escala de laboratorio.
Proceso fotocatalítico	Esta tecnología se basa en la filtración de aguas residuales tratadas mediante filtros de 1500 µm, 70 µm y 30 µm, seguido de un proceso fotocatalítico, supuestamente para degradar estos polímeros	Experimental (a escala de laboratorio). La duración del proceso (175 h) es incompatible con los procesos actuales de las PTAS.
Filtro mucoso de	Rentable, requiere poca	Experimental (a escala de

<p>medusa de base biológica</p>	<p>infraestructura de capital, energía u otros costos operativos. Posible creación de empleo para los que abastecen de medusas Convierte una especie molesta en algo útil.</p>	<p>laboratorio)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las tasas de eliminación varían según la especie de medusa que suministra el moco. • Aún no se ha determinado el procesamiento óptimo del moco. • Aún no se han determinado las opciones óptimas de implementación dentro de las PTAS. • Asegurar el suministro de moco puede ser un desafío dadas las fluctuaciones en el tamaño de las poblaciones de medusas silvestres. Las opciones de implementación en PTAS son inciertas.
---------------------------------	--	--

Fuente: (Freeman et al., 2020)

Según la información entregada, si bien el % de remoción es alta en cuanto a la retención de microplásticos no asegura el 100%, además las tecnologías analizadas no tendrían alcance para nanoplasticos, fibras y tampoco serian viables para grandes caudales, algunas aún se encuentran en la etapa experimental y no hay que dejar de lado los grandes costos asociados en cuanto a la implementación ya sea en infraestructura como en la operación misma, esto último es de suma importancia teniendo en consideración que en Chile al tener este tipo de soluciones se debe considerar a los clientes ya que ellos pagan por el servicio de agua potable, por el servicio de recolección y tratamiento de aguas servidas, lo cual en esa lógica seria el cliente quien pague el mejoramiento en cuanto a la infraestructura, además

no hay una justificación de realizar este tipo de intervenciones ya que en Chile ni siquiera existe normativas asociadas, lo que da a pensar que el Estado tampoco tendría interés en este tipo de intervenciones e inversiones en infraestructura hacia a un privado (empresas sanitarias).

Lo más importante a considerar, si bien en el Gran Santiago existen PTAS con tratamientos terciarios a nivel nacional no es la misma realidad, ya que en que algunas regiones solo se realiza tratamiento primario, teniendo todos estos antecedentes, si bien hoy en día existe la tecnología, esta medida de control no sería viable en un mediano plazo.

De acuerdo con el análisis anterior, al ver el involucramiento de varios factores y los altos costos asociados, es necesario realizar una reducción de las entradas de plásticos al medio ambiente y se debe realizar a través de un enfoque multidisciplinario, el cual contribuye al éxito de las medidas que se van a proponer para Chile y así atacando los microplásticos primarios y secundarios, si bien el enfoque de esta investigación es solo los microplásticos primarios y fibras, es necesario realizar medidas más globales las cuales incluirán los microplásticos mencionados, ya que de lo contrario serian medidas muy enfocadas y no atacaría el real problema de los microplásticos liberados al ambiente.

Incluso para lograr soluciones duraderas se debe tener una cooperación internacional, ya que la contaminación afecta a países vecinos y aguas internacionales, como se pudo evidenciar en el estudio que se realizó en Rapa Nui, que gracias a las corrientes oceánicas a la isla llegan residuos plásticos de otras partes del mundo, lo que incluiría gobernanza nacional

como internacional, reduciendo la liberación de plásticos en las PTAS, educación y concientización a los consumidores, mejoras en la gestión del ciclo de vida y como es la disposición final.

2. Alternativas en materialidad y diseño

El uso de materiales alternativos (por ejemplo, vidrio) reciclados o biodegradables, pero estos últimos ofrecen soluciones para aplicaciones de corta duración, con riesgo de entrar al medio ambiente o donde se desea compostar, además los plásticos biodegradables tienen una gran complejidad en cuanto a la gestión de residuos, es probable que sus deficiencias e impactos disminuyan en el futuro a medida que se encuentren soluciones sostenibles. Además, los plásticos no degradables podrían ser parte de la economía circular considerando el uso y la eliminación correcta, el uso de las infraestructuras actuales y las reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero cuando son de base biológica. Al igual que con otros materiales, el análisis de la evaluación del ciclo de vida (LCA) puede proporcionar evidencia para una decisión informada.

Mejorar el diseño para reducir la cantidad de plástico utilizado, extender la vida útil del producto, permitir la reparación y reutilización y mejorar la reciclabilidad al limitar la cantidad de polímeros, aditivos y mezclas. Es importante tener presente los aditivos de los plásticos, los cuales son dañinos para los ecosistemas y para el ser humano, buscar alternativas más amigables, sin que presenten una amenaza para los ecosistemas y la salud humana. Con esto se está apuntando al ecodiseño, el cual tiene en cuenta

los factores medioambientales, por lo que se implementan medidas para que su producción tenga en menor medida efectos negativos en el medioambiente. Un ejemplo de esto es Ecoflex el nuevo empaque para Vital, representa una baja considerable en la cantidad de plástico usado en su fabricación y además ayuda al reciclaje de éste debido a que se puede bajar considerablemente su volumen (*El Nuevo Envase de Vital de 600 Ml, Tiene Un 27% Menos de Plástico, 2017*). Un punto importante es poder considerar como materias primas plásticos reciclados, los cuales son más beneficiosos a nivel ambiental como social, donde se puede sacar provecho en términos comerciales (marketing) (Prata et al., 2019).

Prohibir ciertos tipos de plásticos de un solo uso, como es la prohibición de los plásticos de un solo uso y bolsas plásticas en Chile y las microperlas a nivel internacional como se pudo evidenciar en el objetivo N°2 de esta investigación, sin embargo, este tipo de prohibiciones deben considerar el impacto en la salud pública, es por esto que la Ley 21368 tiene cierto alcance y no contempla por ejemplo: el equipo médico y el envasado de ciertos alimentos como es la carne fresca, si bien no se prohíbe debería existir una mejora en su diseño.

En cuanto a los residuos, las empresas deben apuntar a reducir su producción y reciclaje durante la fabricación y operación mediante medidas voluntarias y obligatorias. En Chile existe la ley REP (responsabilidad extendida al productor), en cuanto a plásticos cae en la categoría de envases y embalajes, pero aún está en la etapa de reportabilidad de información para determinar que meta deberá cumplir cada empresa.

Encontramos programas voluntarios, como “Cero residuos a relleno Sanitario” del ministerio de Medio Ambiente donde se busca reciclar la mayor parte de los residuos generados, si bien hay un acompañamiento continuo, se debe tener cierto capital para poder participar de este tipo de iniciativas.

3. Ciclo de vida

El análisis de ciclo de vida es un método para cuantificar y analizar el impacto ambiental atribuible al ciclo de vida de productos, servicios y, en ocasiones, procesos. Hoy en día es una herramienta bien integrada en el manejo ambiental, que se rige por las normas ISO 14040-14044. Un completo análisis de ciclo de vida tiene un enfoque de la “cuna a la tumba”, incluyendo cada etapa del ciclo de vida: diseño/desarrollo del producto, obtención de la materia prima, manufactura, actividades de uso/mantenimiento/re-uso y fin de la vida (Hernandez, 2020).

La metodología del Ciclo de Vida consta de 4 pasos:

- Definición de metas y alcances: Se explicitan los límites del sistema para que ninguna información relevante sea omitida (Hernandez, 2020).
- Análisis de inventario (ICV): Basándose en balances de materia y energía, se compilan y cuantifican los inputs (materia prima y energía) y outputs (desechos y otras emisiones) relevantes al sistema (Hernandez, 2020).

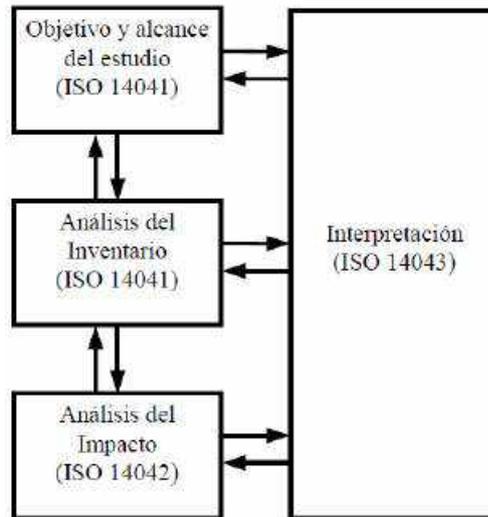


Figura 9 Fases de una ACV según la norma ISO 14040.

Fuente: (Hernandez, 2020)

- **Análisis de impacto (EICV):** Se agregan e identifican las cargas ambientales obtenidas del paso anterior, en categorías de impacto ambiental. Estas pueden ser de cambio climático, reducción de la capa de ozono, creación de ozono troposférico, eutroficación, uso de agua y tierra, etc (Hernandez, 2020).
- **Interpretación:** Se generan conclusiones de acuerdo con los daños ambientales que genera el sistema (Hernandez, 2020) .

Esto ayudará a los productores tener una visión que contribuirá a encontrar la alternativa ecológica más adecuada. Un ejemplo de estas mejoras ecológicas es: (a) empaques de tamaños más pequeños, de menor peso, con mayor reutilización y reciclabilidad; (b) uso de materiales de bajo consumo energético; y (c) medios de transporte ecológicos y configuraciones de envío eficientes. No obstante, el aumento de las tasas de reciclaje podría reducir significativamente los impactos ambientales. Por ejemplo, aumentar

el reciclaje en botellas de tereftalato de polietileno (PET) entre un 25% y un 50% reduciría entre un 5% y un 230% todos los impactos ambientales, mientras que un aumento del 5% en el reciclaje de envases de plástico de legumbres reduciría un 7% del total global potencial de calentamiento. Esta herramienta junto con la fuente de energía puede determinar si un material es ambientalmente favorable (Prata et al., 2019).

4. Sistema Integrado de Gestión de Residuos

Contar con un Sistema Integrado de Gestión de Residuos transversal, es decir, a nivel de consumidores y empresarial apuntando a Reducir, Reutilizar, Reciclar y Recuperar, contener los residuos es una prioridad para evitar riesgos para la salud pública y la producción de basura en cuerpos de agua (microplásticos), es importante contar con puntos de reciclajes, gestores y estaciones de transferencias a nivel nacional, sin embargo esto aún se está implementando en Chile, en ciertas regiones se hace muy complejo llevar a cabo el reciclaje de residuos, además de que este tipo de acciones va apuntando a un cambio de hábitos (cultura) por parte de la comunidad, lo cual lleva mucho más tiempo, es por esto que es de suma importancia la constante educación y concientización.

Teniendo en consideración todos los puntos anteriores se proponen recomendaciones para reducir la entrada de plásticos al medioambiente durante su producción, consumo y eliminación (mala gestión). Estas se clasificarán en medidas a corto plazo, mediano plazo y largo plazo.

Medidas a corto plazo:

1. Regular la producción y el consumo de plásticos nocivos para el medioambiente (aditivos), sin comprometer la salud pública ni la seguridad alimentaria (envasado).
2. Prohibición de microperlas en los productos de cuidado personal, seguir el ejemplo de EE. UU, Canadá y Reino Unido.
3. Extender el alcance de la Ley 21368, donde no solo sea aplicable a plásticos de un solo uso a utensilios de comida y botellas PET, también pueda enmarcar la reducción del consumo de plásticos mediante la eliminación de embalajes innecesarios (por ejemplo, doble embalaje), etiquetado, concienciación, educación y proporcionando alternativas ecológicas a los plásticos cuando sea posible sin consecuencias imprevistas.
4. Incentivar el uso de plásticos reciclados, a través de las metas propuestas por el gobierno, teniendo un mayor seguimiento y visibilización (campañas)
5. Fomentar la realización de estudios en cuanto a la presencia de microplásticos en el aire, suelos, aguas superficiales y subterráneas.

Medidas a mediano plazo:

1. Fortalecer el sistema de gestión existente a través del apoyo continuo a gestores, trabajar en hacer más atractivo el mercado del reciclaje y descentralizar los centros de reciclaje.

2. Priorizar el reciclaje seguido de materia prima y conversión de residuos en energía que permitan la recuperación de productos químicos y energía.
3. Apoyar a municipalidades y a pymes en cuanto a la participación de APL (acuerdos de producción limpia) y programas del gobierno como es “Cero residuos a relleno Sanitario”
4. Mayor fiscalización en cuanto a la declaración en RETC ventanilla única (SINADER, SIPREP y Ley REP) y trazabilidad de los residuos generados.
5. Incentivar al área científica en cuanto posibles soluciones de bajo costo para la captación de microplásticos a nivel doméstico.

Medidas a largo plazo:

1. Implementar la evaluación del ciclo de vida para cada producto y proceso para mejorar el diseño ecológico (incluida la reutilización, reparación y reciclabilidad), teniendo en cuenta el final de vida esperado de los productos y que esto sea informado de manera transversal inclusive al consumidor, donde exista la posibilidad de consumir de manera responsable e informado.
2. Usar energía renovable durante la recolección de desechos y el reciclaje para reducir los impactos ambientales de los plásticos reciclados

3. Usar plásticos de base biológica para reducir los impactos ambientales de los plásticos a base de combustibles, siempre y cuando estos sean viables y no nocivos en su disposición final.

Discusión

La información existente en cuanto a la investigación científica realizada en Chile es escasa y focalizada en áreas costeras, lo cual deja de lado los sectores densamente poblados y el sector norte de nuestro país, esto es de gran importancia, ya que tendríamos una idea del escenario que tiene Chile en cuanto a la presencia y efectos de microplástico en el medioambiente. La investigación científica es clave al momento de respaldar o tener bases para crear alguna legislación o concientización a la comunidad.

La presencia de microplásticos es un problema a nivel mundial y Chile no es la excepción, teniendo en consideración que la presencia y la persistencia de los microplásticos y nanoplásticos va a depender de donde se encuentren, ya que los factores ambientales van a ser decisivos, es de suma importancia la investigación de este ámbito considerando la variabilidad de escenarios ambientales que se pueden encontrar en Chile, ya sea en el medio acuático como terrestre.

La presencia de microplásticos es evidente en todo el mundo, y es importante saber las fuentes de generación, llama la atención los efluentes de las PTAS debido a que estos liberan millones de microplásticos al día, se consideran fuentes importantes de microplásticos incluso cuando tienen un alto porcentaje de retención y como se mencionó anteriormente si bien no son fuentes generadoras es acá donde se liberan al medioambiente y hay una separación en cuanto al medio acuático como al medio terrestre a través de los lodos, los cuales debe ser considerados y poner énfasis en su disposición final debido a que los microplásticos retenidos en la PTAS se

encuentran en este material. Llama la atención las fibras debido a su bajo % de retención en las PTAS e incluso incorporando nuevas tecnologías, lo cual es un gran problema debido a que ni siquiera a nivel internacional se ha podido controlar a comparación de las microperlas en los productos de cuidado personal, pero la industria textil es mucho más complejo de legislar ya sea por atribuciones a través de la moda o la composición textil de la ropa que se utiliza donde la tela sintética es mucho más accesible en términos económicos. Según la información analizada se podría pensar que las grandes fuentes de liberación de microplásticos del Gran Santiago, entendiendo que existe un sistema de captación de aguas residuales, serían los artículos de cuidados personal y el lavado de nuestra ropa, se podría solucionar a través de legislación profundizada en el objetivo N°2, y en cuanto a la liberación de microfibras se podrían incorporar un tipo de filtro en las lavadoras y establecer ciertas recomendaciones en cuanto al tipo de lavado que se debe realizar, detergente y suavizante que se podría emplear. Las aguas residuales del Gran Santiago son tratadas y tienen un porcentaje de remoción de microplásticos, pero en el Gran Santiago y en resto del país existe una gran contaminación en ribera de los ríos donde se puede encontrar una gran cantidad de basura que es considerada fuentes primarias de microplásticos, en estos entornos se puede encontrar principalmente envases de consumo desechables (envases, bolsas, botellas) y basura industrial, en estas condiciones los plásticos sufren fotodegradación inducida por la irradiación ultravioleta, así como por la erosión mecánica que conduce a la fragilidad y la fractura (microplásticos secundarios), además se van de

manera directa a los cuerpos de aguas, lo cual es de gran preocupación y se debe analizar este tipo de exposición, debido a que estos procesos de degradación progresiva de los plásticos desechados están en su mayoría ausentes durante el tratamiento de aguas residuales y van a incrementar la cantidad de microplásticos en los cuerpos de aguas. Sería interesante evaluar el Rio Maipo antes de la desembocadura del Rio Mapocho para ver la cantidad de microplásticos y evaluar la contribución de tienen las aguas tratadas en cuanto a microplásticos.

Llama la atención que no existan metodologías de separación y cuantificación estandarizadas referente a microplásticos, estas diferencias metodológicas dificultan la comparación de los resultados entre investigaciones, es de suma importancia realizar protocolos eficientes y rápidos para los estudios de microplásticos, considerando siempre la contaminación cruzada, ya sea en el transporte de las muestras o durante los análisis. Además, la estandarización de tamaños (tamizado, mallas y filtros), digestión química (ácida, básica, peroxidación u otra), separación por densidad (mejor solución a utilizar), separación visual (adición de tintes de tinción) y técnicas analíticas para la identificación química del polímero, se deben optimizar y aplicarse de manera estándar, ya que con estas medidas se podrán comparar y asegurar que no exista una fragmentación del material lo cual podría implicar una sobre estimación, lo cual hoy en día no se sabe en las investigaciones realizadas, debido a que aún no se conoce a cabalidad como ocurre la fragmentación o que tan sensibles son las partículas de plásticos de romperse.

Los posibles riesgos de los microplásticos para la salud de los seres humanos es un tema inquietante, lo cual ha dado lugar a discusiones políticas para limitar o prohibir el uso industrial de este material en varios productos (prohibición de microperlas en los productos de cuidado personal), aunque como se pudo apreciar en esta investigación los datos no muestran los riesgos reales (ambiente no controlado) y a largo plazo debido a que es muy escasa o simplemente no hay y esto puede ser debido a las dificultades que existen en aislar e identificar (químicamente) micropartículas, nanopartículas de muestras ambientales y biológicas (condiciones reales), no se han obtenido cifras precisas sobre la exposición humana a los nanoplásticos y microplásticos a través de las principales vías de absorción de la ingestión e inhalación (se ha podido detectar microplásticos en las heces humanas). Los efectos sobre la salud humana siguen siendo desconocidos. Teniendo en consideración a la gran cantidad de microplásticos a los que estamos expuestos de manera permanente, debe existir un riesgo latente para la salud humana, posiblemente no deriven en una toxicidad aguda pero quizás la acumulación a largo plazo en el cuerpo humano pueda causar algunos efectos indirectos causados por alteraciones que este momento no se han podido detectar. Es de suma importancia poder investigar este contexto. Si bien en los animales y plantas hay más información no existe la suficiente en cuanto a la contribución que tienen dentro de la cadena alimentaria, sobre todo si los procedimientos y materiales no están estandarizados, bien definidos y caracterizados, para

generar conclusiones y decisiones bien fundamentadas basadas en datos científicamente sólidos.

En cuanto a normativa aplicable a microplásticos se debe seguir los pasos de los países que ya lo han podido implementar, el cual se plantea como medidas de corto plazo, donde no se ve una mayor complejidad.

Para llevar a cabo medidas de control de manera exitosa es necesario tener el involucramiento de varias disciplinas debido a la complejidad y lo actual del tema que se está tratando, es importante el análisis y la visión en cuanto a que tan viable de implementar son, también se debe tener en cuenta que son propuesta no estáticas, las cuales pueden ir variando a través del tiempo dependiendo de la necesidad pero lo importante es poder iniciar ahora ya este tipo de discusiones y tener en cuenta que existe una problemática que no se está considerando.

Conclusión

Los estudios analizados proporcionan principalmente información de los microplásticos en el medio marino, sin dar la importancia necesaria a aguas dulces y suelos. Considerando que el agua dulce es fuente de agua potable y el suelo es la base para nuestra alimentación (cereales y hortalizas), estos medios están directamente relacionados con la salud humana. Por tanto, se deben realizar más estudios en esta materia para verificar la distribución que tienen los microplásticos en el medio ambiente y como influyen en la salud humana, considerando las condiciones reales de exposición al realizar experimentos ecotoxicológicos en el laboratorio, debido a que los microplásticos interactúan con diferentes factores ambientales, para lo se necesita tener ya todo estandarizado ya sea en las tomas de muestras como el procesamiento de éstas.

Esta investigación da cuenta de los peligros potenciales que pueden representar los microplásticos, ya sean por las sustancias químicas asociadas (aditivos) o por el comportamiento de vector de ciertas sustancias y patógenos dañinos hacia los ecosistemas. Aún el impacto de los microplásticos en la salud humana es incierto, pero no se debe ignorar, por lo que se debe mitigar la creciente incorporación de plástico al medioambiente, Para esto, es necesario el involucramiento del gobierno, las industrias y la sociedad, ya que juegan un papel fundamental para poder llevar a cabo de manera exitosa las medidas de control.

Si bien las PTAS ya capturan una proporción considerable de microplásticos debido a los grandes volúmenes de tratamiento de aguas residuales,

también hacen una contribución importante a la liberación de microplásticos al medioambiente, y como se mencionó en esta investigación, la liberación de este microplástico se caracteriza por ser de un tamaño más pequeño y contienen una alta proporción de fibras, lo cual puede representar un peligro para las especies planctónicas ya que contribuiría a la acumulación de microplásticos a través de la cadena trófica. Actualmente y como se analizó en el objetivo N°3 no existen tecnologías rentables para capturar nanoplásticos y fibras, pero a medida que avancen los años se espera que exista la tecnología adecuada a implementar en nuestras PTAS. Además, en este punto se debe tener en consideración la captación de microplásticos a través de los lodos, donde se crea una necesidad de una innovación adicional en el proceso de tratamiento, ya que estos presentarían un real problema al momento de su disposición final. El costo y el esfuerzo de desarrollar estas medidas de control en las PTAS solo se puede justificar si existen políticas y regulaciones en esta materia.

Es de suma importancia tener conocimiento tanto de la presencia de microplásticos en las aguas residuales como en las aguas pluviales del Gran Santiago, ya que en esta última se pueden concentrar microplásticos secundarios que no se están tomando en consideración, como es el desgaste de neumáticos. Si bien en esta investigación se proponen varias medidas de control con la información que se maneja en este momento, la exposición a los microplásticos siempre va a existir, ya que hay factores que son muy complejos de manejar, por ejemplo, la red de distribución de agua potable y la red de captación de aguas residuales están hechas de PVC, un

tipo de plástico, sin embargo, la idea es poder reducir al máximo la entrada de plástico al medio ambiente como medida de prevención. Esto refleja la importancia y la relevancia de este tema para poder abordar de mejor forma el respaldo científico, informar la real problemática, donde exista un enfoque mucho más amplio que solo las aguas residuales, tener una justificación real en cuanto a reducir el consumo de plástico, reducir la cantidad de desechos plásticos y una mejora de gestión de residuos a través de enfoques mejorados de reciclaje y economía circular para después poder usar la herramienta del ciclo de vida y poder tener un consumo responsable e informado desarrollando una visión holística que vincule la exposición al plástico con la función de los ecosistema y la producción de alimentos.

Bibliografía

- Aguas Andinas S.A. (2019). *Nuestras Operaciones*. Aguas Andinas.
<https://www.aguasantinasinversionistas.cl/es/nuestro-negocio/nuestras-operaciones>
- Andrade, C., Ovando, F., Andrade, C., & Ovando, F. (2017). Primer registro de microplásticos en contenido estomacal de centolla *Lithodes santolla* (Anomura: Lithodidae), bahía Nassau, Cabo de Hornos, Chile. *Anales Del Instituto de La Patagonia*, 45(3), 59–65.
<https://doi.org/10.4067/S0718-686X2017000300059>
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- At a glance: summary of targets in our 25 year environment plan - GOV.UK*. (n.d.). Retrieved November 24, 2021, from
<https://www.gov.uk/government/publications/25-year-environment-plan/25-year-environment-plan-our-targets-at-a-glance>
- Baeza, C., Cifuentes, C., González, P., Araneda, A., & Barra, R. (2020). Experimental Exposure of *Lumbricus terrestris* to Microplastics. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(6), 1–10. <https://doi.org/10.1007/S11270-020-04673-0/FIGURES/6>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2020). *Hidrografía Región Metropolitana de Santiago*. Chile Nuestro País.
<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/hidrografia.htm>
- Biobío en San Rosendo, R., del Biobío Fotografía, R., & Seebach, N. (2016). C4 Gestión del agua Gestión del agua. *Atlas Del Agua-Chile*.
- Bretas Alvim, C., Mendoza-Roca, J. A., & Bes-Piá, A. (2020). Wastewater treatment plant as microplastics release source – Quantification and identification techniques. *Journal of Environmental Management*, 255, 109739. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2019.109739>
- Bustamante, M. R. (2020). “*Ciclos biogeoquímicos del plástico en la Región Metropolitana de Chile* .”
- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, V. F. (2020). A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 1212, 17(4), 1212. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17041212>
- Carr, S. A., Liu, J., & Tesoro, A. G. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Research*, 91, 174–182.
<https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2016.01.002>
- Carrasco, A., Pulgar, J., Quintanilla-Ahumada, D., Perez-Venegas, D., Quijón, P. A., & Duarte, C. (2019). The influence of microplastics pollution on the feeding behavior of a prominent sandy beach amphipod, *Orchestoidea tuberculata* (Nicolet, 1849). *Marine Pollution Bulletin*, 145, 23–27. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2019.05.018>
- Castillo, C., Fernández, C., Gutiérrez, M. H., Aranda, M., Urbina, M. A., Yáñez, J., Álvarez, Á., & Pantoja-Gutiérrez, S. (2020). Water column

- circulation drives microplastic distribution in the Martínez-Baker channels; A large fjord ecosystem in Chilean Patagonia. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111591.
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2020.111591>
- Chagnon, C., Thiel, M., Antunes, J., Ferreira, J. L., Sobral, P., & Ory, N. C. (2018). Plastic ingestion and trophic transfer between Easter Island flying fish (*Cheilopogon rapanouiensis*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from Rapa Nui (Easter Island). *Environmental Pollution*, 243, 127–133. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2018.08.042>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588–2597.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Congress. (2016). *Public Law 114 – 231 114th Congress An Act*. 949–957.
- Corradini, F., Casado, F., Leiva, V., Huerta-Lwanga, E., & Geissen, V. (2021). Microplastics occurrence and frequency in soils under different land uses on a regional scale. *Science of The Total Environment*, 752, 141917. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141917>
- Corradini, F., Meza, P., Eguiluz, R., Casado, F., Huerta-Lwanga, E., & Geissen, V. (2019). Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. *Science of the Total Environment*, 671, 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.368>
- Détrée, C., & Gallardo-Escárate, C. (2018). Single and repetitive microplastics exposures induce immune system modulation and homeostasis alteration in the edible mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Fish & Shellfish Immunology*, 83, 52–60.
<https://doi.org/10.1016/J.FSI.2018.09.018>
- Disruptores Endocrinos*. (2018). <https://vivesanobrasil.org/disruptores-endocrinos/>
- El Consejo de Salubridad General. (2021). *Art. 269 Ley General de Salud de la Federación Artículo 269*. https://leyes-mx.com/ley_general_de_salud/269.htm
- El nuevo envase de Vital de 600 ml, tiene un 27% menos de plástico*. (2017). <http://cenem.cl/newsletter/noviembre2017/detalle-15.php>
- Enders, K., Lenz, R., Stedmon, C. A., & Nielsen, T. G. (2015). Abundance, size and polymer composition of marine microplastics $\geq 10 \mu\text{m}$ in the Atlantic Ocean and their modelled vertical distribution. *Marine Pollution Bulletin*, 100(1), 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.027>
- England Government. (2017). *The Environmental Protection (Microbeads) (England) Regulations 2017*. 161(2), 2017 No. 1312.
http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2017/1312/pdfs/ukxi_20171312_en.pdf
- FAQs | FDA. (2015). *The Microbead-Free Waters*.
<https://www.fda.gov/cosmetics/cosmetics-laws-regulations/microbead-free-waters-act-faqs>
- Freeman, S., Booth, A. M., Sabbah, I., Tiller, R., Dierking, J., Klun, K., Rotter, A., Ben-David, E., Javidpour, J., & Angel, D. L. (2020). Between source and sea: The role of wastewater treatment in reducing marine

- microplastics. *Journal of Environmental Management*, 266, 110642. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.110642>
- Gennip, S. J. van, Dewitte, B., Garçon, V., Thiel, M., Popova, E., Drillet, Y., Ramos, M., Yannicelli, B., Bravo, L., Ory, N., Luna-Jorquera, G., & Gaymer, C. F. (2019). In search for the sources of plastic marine litter that contaminates the Easter Island Ecoregion. *Scientific Reports 2019* 9:1, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56012-x>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), 25–29. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Government of Canada. (2018). *Microbeads in Toiletries Regulations Règlement sur les microbilles dans les produits de toilette*.
- Guo, J. J., Huang, X. P., Xiang, L., Wang, Y. Z., Li, Y. W., Li, H., Cai, Q. Y., Mo, C. H., & Wong, M. H. (2020). Source, migration and toxicology of microplastics in soil. *Environment International*, 137, 105263. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2019.105263>
- Henry, B., Laitala, K., & Klepp, I. G. (2019). Microfibres from apparel and home textiles: Prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment. *Science of the Total Environment*, 652, 483–494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.166>
- Hernandez, C. (2020). INFLUENCIA DE LA MANUFACTURA EN EL CICLO DE VIDA DE LAS BOLSAS PLÁSTICAS EN CHILE. *SELL Journal*, 5(1), 55.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (214 C.E.). *Metodología de la Investigación*.
- Jiang, B., Kauffman, A. E., Li, L., McFee, W., Cai, B., Weinstein, J., Lead, J. R., Chatterjee, S., Scott, G. I., & Xiao, S. (2020). Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review. *Environmental Health and Preventive Medicine 2020* 25:1, 25(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/S12199-020-00870-9>
- La cuenca del río Maipo – Proyecto MAPA*. (2013). <https://www.maipoadaptacion.cl/descripcion-2/contexto-antecedentes/la-cuenca-del-rio-maipo/>
- Li, J., Liu, H., & Paul Chen, J. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 137, 362–374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>
- Luna-Jorquera, G., Thiel, M., Portflitt-Toro, M., & Dewitte, B. (2019). Marine protected areas invaded by floating anthropogenic litter: An example from the South Pacific. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29(S2), 245–259. <https://doi.org/10.1002/AQC.3095>
- Mateos-Cárdenas, A., van Pelt, F. N. A. M., O'Halloran, J., & Jansen, M. A. K. (2021). Adsorption, uptake and toxicity of micro- and nanoplastics: Effects on terrestrial plants and aquatic macrophytes. *Environmental Pollution*, 284, 117183. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.117183>
- Mathalon, A., & Hill, P. (2014). Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Marine Pollution Bulletin*,

- 81(1), 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.018>
- McDevitt, J. P., Criddle, C. S., Morse, M., Hale, R. C., Bott, C. B., & Rochman, C. M. (2017). Addressing the Issue of Microplastics in the Wake of the Microbead-Free Waters Act - A New Standard Can Facilitate Improved Policy. *Environmental Science and Technology*, 51(12), 6611–6617.
https://doi.org/10.1021/ACS.EST.6B05812/SUPPL_FILE/ES6B05812_SI_001.PDF
- Mesa Nacional del Agua-Primer Informe. (2020).
- México va contra los microplásticos. (2017).
<https://www.plastico.com/temas/Mexico-va-contra-los-microplasticos+121737?pagina=1>
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. (1998). ESTABLECE NORMA DE EMISION PARA LA REGULACION DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS INDUSTRIALES LIQUIDOS A SISTEMAS DE ALCANTARILLADO. *Decreto 609*.
- MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. (2001). ESTABLECE NORMA DE EMISION PARA LA REGULACION DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LIQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES SUPERFICIALES. *Decreto 90*.
- Mizraji, R., Ahrendt, C., Perez-Venegas, D., Vargas, J., Pulgar, J., Aldana, M., Patricio Ojeda, F., Duarte, C., & Galbán-Malagón, C. (2017). Is the feeding type related with the content of microplastics in intertidal fish gut? *Marine Pollution Bulletin*, 116(1–2), 498–500.
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2017.01.008>
- MMA. (2018). *Ley-21100*.
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1121380&buscar=21100>
- MMA. (2021a). *Aprueban ambiciosa ley que prohibirá los utensilios y envases plásticos de un solo uso*. 21 Mayo.
<https://mma.gob.cl/aprueban-ambiciosa-ley-que-prohibira-los-utensilios-y-envases-plasticos-de-un-solo-uso/>
- MMA. (2021b). *Ley 21368*.
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1163603>
- Most toiletries with microbeads no longer for sale in Canada | CTV News*. (2018). <https://www.ctvnews.ca/canada/most-toiletries-with-microbeads-no-longer-for-sale-in-canada-1.3997003>
- Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1–2), 39–45.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.025>
- Ninla Elmawati Falabiba, Anggaran, W., Mayssara A. Abo Hassanin Supervised, A., Wiyono, B. ., Ninla Elmawati Falabiba, Zhang, Y. J., Li, Y., & Chen, X. (2020). INICIATIVA QUE ADICIONA EL ARTÍCULO 269 DE LA LEY GENERAL DE SALUD, SUSCRITA POR LAS DIPUTADAS JULIETA MACÍAS RÁBAGO E IRMA JUAN CARLOS, DE LOS GRUPOS PARLAMENTARIOS DE MOVIMIENTO CIUDADANO Y

- MORENA. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 5(2), 40–51.
- Ory, N. C., Sobral, P., Ferreira, J. L., & Thiel, M. (2017). Amberstripe scad *Decapterus muroadsi* (Carangidae) fish ingest blue microplastics resembling their copepod prey along the coast of Rapa Nui (Easter Island) in the South Pacific subtropical gyre. *Science of The Total Environment*, 586, 430–437.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.01.175>
- Ottawa plans to ban microbeads over environmental concerns | CTV News. (2015). <https://www.ctvnews.ca/health/ottawa-plans-to-ban-microbeads-over-environmental-concerns-1.2495264>
- Ouzzani, M., Hammady, H., Fedorowicz, Z., & Elmagarmid, A. (2016). Rayyan-a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews*, 5(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>
- Perez-Venegas, D. J., Seguel, M., Pavés, H., Pulgar, J., Urbina, M., Ahrendt, C., & Galbán-Malagón, C. (2018). First detection of plastic microfibers in a wild population of South American fur seals (*Arctocephalus australis*) in the Chilean Northern Patagonia. *Marine Pollution Bulletin*, 136, 50–54.
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2018.08.065>
- Perez-Venegas, Diego J., Toro-Valdivieso, C., Ayala, F., Brito, B., Iturra, L., Arriagada, M., Seguel, M., Barrios, C., Sepúlveda, M., Oliva, D., Cárdenas-Alayza, S., Urbina, M. A., Jorquera, A., Castro-Nallar, E., & Galbán-Malagón, C. (2020). Monitoring the occurrence of microplastic ingestion in Otariids along the Peruvian and Chilean coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 153, 110966.
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2020.110966>
- Plastic microbeads ban enters force in UK | Plastics | The Guardian. (2018). <https://www.theguardian.com/environment/2018/jan/09/plastic-microbeads-ban-enters-force-in-uk>
- PlasticsEurope. (2021). *Tipos de plásticos*.
<https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/large-family>
- Pozo, K., Gomez, V., Torres, M., Vera, L., Nuñez, D., Oyarzún, P., Mendoza, G., Clarke, B., Fossi, M. C., Baini, M., Příbylová, P., & Klánová, J. (2019). Presence and characterization of microplastics in fish of commercial importance from the Biobío region in central Chile. *Marine Pollution Bulletin*, 140, 315–319.
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2019.01.025>
- Pozo, K., Urbina, W., Gómez, V., Torres, M., Nuñez, D., Příbylová, P., Audy, O., Clarke, B., Arias, A., Tombesi, N., Guida, Y., & Klánová, J. (2020). Persistent organic pollutants sorbed in plastic resin pellet — “Nurdles” from coastal areas of Central Chile. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110786. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2019.110786>
- Prata, J. C., Patrício Silva, A. L., da Costa, J. P., Mouneyrac, C., Walker, T. R., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Solutions and Integrated Strategies for the Control and Mitigation of Plastic and Microplastic Pollution. *International Journal of Environmental Research and Public*

- Health* 2019, Vol. 16, Page 2411, 16(13), 2411.
<https://doi.org/10.3390/IJERPH16132411>
- Prüst, M., Meijer, J., & Westerink, R. H. S. (2020). The plastic brain: neurotoxicity of micro- and nanoplastics. *Particle and Fibre Toxicology* 2020 17:1, 17(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/S12989-020-00358-Y>
- Ram, J. I. (2021). *Tipos y las características de los plásticos y su influencia en el ciclo del carbono , enmarcado en Chile .*
- SEIA. (2011). *Optimización del tratamiento de lodos y cogeneración de Energía a partir del biogás producido en las plantas de tratamiento de aguas servidas Mapocho-El Trebal.* Declaración de Impacto Ambiental. <https://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=5273343>
- SEIA. (2018). *Aumento de la capacidad de cogeneración de energía a partir del biogás generado en la planta de tratamiento de aguas servidas Mapocho – Trebal.* Declaración de Impacto Ambiental. <https://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=2138454331>
- Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. (2018). Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Current Environmental Health Reports*, 5(3), 375–386. <https://doi.org/10.1007/S40572-018-0206-Z/TABLES/4>
- Tang, N., Liu, X., & Xing, W. (2020). Microplastics in wastewater treatment plants of Wuhan, Central China: Abundance, removal, and potential source in household wastewater. *Science of The Total Environment*, 745, 141026. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141026>
- Thompson, R. C., Moore, C. J., Saal, F. S. V., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2153–2166. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- Tiara Dewi, Muhammad Amir Masruhim, R. S. (2021). INICIATIVA QUE ADICIONA EL ARTÍCULO 269 DE LA LEY GENERAL DE SALUD, A CARGO DE LA DIPUTADA GRACIELA SÁNCHEZ ORTIZ, DEL GRUPO PARLAMENTARIO DE MORENA. *Laboratorium Penelitian Dan Pengembangan FARMAKA TROPIS Fakultas Farmasi Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur, April*, 5–24.
- UK Parliament. (n.d.). Retrieved November 24, 2021, from <https://www.parliament.uk/>
- Urbina, M. A., Correa, F., Aburto, F., & Ferrio, J. P. (2020). Adsorption of polyethylene microbeads and physiological effects on hydroponic maize. *Science of The Total Environment*, 741, 140216. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.140216>
- Urrutia Barceló, P. (2021). *Río Maipo.* <https://www.ecosistemas.cl/wp-content/uploads/2021/02/Usos-y-abusos-Humanidad-en-las-cuencas-Rio-Maipo-web.pdf>
- Wang, L., Wu, W. M., Bolan, N. S., Tsang, D. C. W., Li, Y., Qin, M., & Hou, D. (2021). Environmental fate, toxicity and risk management strategies of nanoplastics in the environment: Current status and future

perspectives. *Journal of Hazardous Materials*, 401, 123415.
<https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2020.123415>
World leading microbeads ban comes into force - GOV.UK. (2018).
<https://www.gov.uk/government/news/world-leading-microbeads-ban-comes-into-force>

Anexos

Anexo 1

Tabla 13 Detalle de los efectos provocados por microplásticos especificando especie, tipo de microplástico utilizado, efecto y referencia.

Peces	Propiedades de los MP / NP utilizados	Acumulación	Notas sobre observaciones toxicológicas, patológicas o de comportamiento	Referencias
almejas asiáticas de agua dulce (<i>Corbicula fluminea</i>)	microesferas de polímero rojo fluorescente (composición no revelada; 1 a 5 μm , 0,2 o 0,7 mg / L)	-	a exposición a las microesferas de polímero redujo la actividad de la colinesterasa y aumentó los niveles de LPO que sugieren daño oxidativo. Estos efectos solo fueron parcialmente reversibles después de seis días de recuperación. Sorprendentemente, los efectos observados se aliviaron con la exposición conjunta al mercurio	El cerebro plástico: neurotoxicidad de micro y nanoplasticos https://particleandfibretotoxicology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12989-020-00358-y
Almeja	1,2 μm – 5 mm	-	No hay diferencias significativas para la ingesta y acumulación de MNP entre las almejas silvestres y las cultivadas.	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/2
Bagre africano (<i>Clarias gariepinus</i>)	Fragmentos de polietileno de baja densidad (LDPE) vírgenes (50 o 500 μg / L) o cargados con fenantreno (10 o 100 μg / L)	-	<ul style="list-style-type: none"> • Histopatología del hígado y las branquias 	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Bagre africano (<i>Clarias gariepinus</i>)	Fragmentos de polietileno de baja densidad (LDPE) vírgenes (50 o 500 μg / L) o cargados con fenantreno (10	-	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en la bioquímica sanguínea • Cambios en la expresión de los genes del eje reproductivo 	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
bivalvos de la especie <i>Scrobicularia plana</i>	microplásticos de poliestireno (20 μm , 1 mg / L)	-	indujeron un aumento constante de la actividad de la superóxido dismutasa (SOD), así como un aumento de la actividad de la glutatión-S-transferasa (GST), lo que sugiere estrés oxidativo. También disminuyó la actividad de la AChE y la peroxidación lipídica (LPO) en las branquias. En la glándula digestiva desde el día 14 en adelante, la actividad de la SOD aumentó, mientras que la actividad de la catalasa disminuyó	El cerebro plástico: neurotoxicidad de micro y nanoplasticos https://particleandfibretotoxicology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12989-020-00358-y
cangrejos azules (<i>Callinectes sapidus</i>)	microesferas de plástico ingeridas	-	estimulan la agregación de hemocitos y reducen su función respiratori	*Los microplásticos en los mariscos y las implicaciones para la salud https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40572-018-0206-z https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40572-018-0206-z humana
Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)	MP de un exfoliante facial y corporal, principalmente PE (250 y 500 μg / L), solo y + Cd	-	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en los niveles plasmáticos de varias enzimas metabólicas y marcadores inmunes 	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)	MP de PVC, ~ 100 200 μm , a 45,55, 91,1 y 136,65 μg / L	-	<ul style="list-style-type: none"> • MPs reducen el peso y la longitud corporal de las larvas de carpa 	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)	MP de un exfoliante facial y corporal, principalmente PE (250 y 500 μg / L), solo y + Cd	-	<ul style="list-style-type: none"> • La combinación de MP y Cd aumenta la toxicidad por Cd 	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
	MP de PVC, ~ 100	-	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios histopatológicos en el hígado 	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en

Carpa (Cyprinus carpio)	200 µm, a 45,55, 91,1 y 136,65 µg /L		• Estrés oxidativo elevado y actividades enzimáticas relacionadas	sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Carpa cruciana (Carassius carassius)	Nanopartículas (NP) de poliestireno (PS) de 24 y 27 nm (para pescar a través de una cadena alimentaria acuática, desde algas hasta Daphnia) * 53 nm y 180 nm, 100 mg / L	Transferencia trófica a peces desde algas a través de Daphnia	• Defectos en la alimentación y comportamiento de los bancos	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Carpa cruciana (Carassius carassius)	Nanopartículas de PS cargadas positivamente modificadas con amino (52 nm)	Transferencia trófica a peces desde algas a través de Daphnia . Nanopartículas encontradas en el cerebro de un pez	• Cambios en la hora de comer	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Carpa cruciana (Carassius carassius)	Nanopartículas (NP) de poliestireno (PS) de 24 y 27 nm (para pescar a través de una cadena alimentaria acuática, desde algas hasta Daphnia) * 53 nm y 180 nm, 100 mg / L	Transferencia trófica a peces desde algas a través de Daphnia	<ul style="list-style-type: none"> • Defectos en el metabolismo • Cambios en la apariencia y el peso del cerebro <p>Las nanopartículas tenían una mayor presencia en el cerebro que las micropartículas. La presencia de micro y nanopartículas de poliestireno en el cerebro coincidió con alteraciones en los patrones de comportamiento, disminución de la masa cerebral y cambios morfológicos en las circunvoluciones cerebrales, que fue más profundo para las nanopartículas</p>	El cerebro plástico: neurotoxicidad de micro y nanoplásticos https://particleandfibretoxiology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12989-020-00358-y
Carpa cruciana (Carassius carassius)	Nanopartículas de PS cargadas positivamente modificadas con amino (52 nm)	Transferencia trófica a peces desde algas a través de Daphnia . Nanopartículas encontradas en el cerebro de un pez	• Cambios en la morfología del cerebro (tamaño de las circunvoluciones)	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Daphnia	20–250 mm	-	Permanece en el intestino, pero no se observan efectos agudos	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/2
Daphnia	1 µm, 100 µm	-	El efecto de las partículas de plástico de 1 µm sobre la inmovilización cambió de manera dependiente del tiempo y de la dosis. Sin embargo, las partículas de plástico de 100 µm de tamaño no se pudieron ingerir y tampoco hubo un efecto dañino significativo para este tamaño de partículas de plástico.	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3
Daphnia	100 nm, 2 µm	-	Las partículas de plástico de ambos tamaños son fáciles de ingerir y la absorción de partículas de 2 µm es 5 veces mayor que la de las partículas de 100 nm. NP resultó en una reducción de las tasas de excreción e ingestión, pero no se observaron efectos adversos de MP y NP en la reproducción.	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/4
Daphnia	63–75 µm	-	Sin aumento en la mortalidad de adultos de D. magna después de la exposición a MP, sin cambios en la morfología (longitud, ancho y longitud del coxis) y sin efectos nocivos sobre los parámetros reproductivos	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/5

Dorada (<i>Sparus aurata</i>) y lubina europea (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	Polivinilcloruro de vinilo (PVC) y polietileno (PE) virgen (40-150 μm)	-	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la explosión oxidativa en leucocitos de <i>Sparus aurata</i> 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Dorada (<i>Sparus aurata</i>) y lubina europea (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	Polivinilcloruro de vinilo (PVC) y polietileno (PE) virgen (40-150 μm)	-	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación al alza del regulador redox Nrf2 en leucocitos de <i>Sparus aurata</i> 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Invertebrado marino, <i>Caenorhabditis</i>	microplásticos de poliestireno esférico (0,1 a 5 μm) a través del medio de cultivo (1 mg / L)	-	toxicidad excitadora en el comportamiento locomotor, una tasa de supervivencia reducida y una vida útil media reducida, particularmente después de la exposición a partículas de poliestireno de 1,0 μm . Además, la expresión de varios genes neuronales se reguló negativamente, lo que coincidió con el deterioro de las neuronas colinérgicas y GABAérgicas y el estrés oxidativo.	El cerebro plástico: neurotoxicidad de micro y nanoplásticos https://particleandfibretotoxicology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12989-020-00358-y
larvas de camarón de salmuera (<i>Artemia franciscana</i>)	a nanopartículas de poliestireno modificado con amino (50 nm, 0,1 a 10 μg / ml)	-	una disminución de la actividad de GST y catalasa, lo que sugiere estrés oxidativo, así como inhibición de la carboxilesterasa y la ChE a 1 μg / ml. Desafortunadamente, no hubo pruebas de la absorción real de los nanoplásticos de poliestireno	El cerebro plástico: neurotoxicidad de micro y nanoplásticos https://particleandfibretotoxicology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12989-020-00358-y
larvas del percebe rayado (<i>Amphibalanus ampitrite</i>) y del camarón de salmuera (<i>Artemia franciscana</i>)	icropartículas de poliestireno fluorescente de 0,1 μm (0,001 a 10 mg / L)	-	la exposición a microplásticos resultó en efectos diversos sobre la actividad enzimática. La actividad de la catalasa aumentó principalmente, en particular a la dosis alta (1 mg / L), mientras que los efectos sobre la colinesterasa (acetilcolinesterasa y propionilcolinesterasa) parecieron más aleatorios sin una clara dependencia de la dosis	El cerebro plástico: neurotoxicidad de micro y nanoplásticos https://particleandfibretotoxicology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12989-020-00358-y
Lubina europea (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	Microesferas de polímero rojo fluorescente (1 a 5 μm) y mercurio individualmente y en combinación	-	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibición de la actividad de la acetilcolinesterasa (AChE) cerebral y aumento de la oxidación de lípidos en el cerebro y los músculos 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Lubina europea (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	Microesferas de polímero rojo fluorescente (1 a 5 μm) y mercurio individualmente y en combinación	-	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en la actividad de las enzimas metabólicas • Interacciones e influencias sobre la bioacumulación de mercurio 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Medaka (<i>Oryzias melastigma</i>)	Microesferas de PS (10-11 μm , 0,758 \pm 0,217 \times 10 ⁵ partículas / L)	Se observan microplásticos en el tracto digestivo de larvas e intestino disecado de adultos	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la mortalidad y disminución de la longitud y el peso promedio de larvas y peces adultos 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Medaka (<i>Oryzias melastigma</i>)	Nanopartículas de PS (10 μm a 2-200 μg / L)	Acumulación de MP en branquias, intestino e hígado	<ul style="list-style-type: none"> • Estrés oxidativo y daños estructurales en tejidos con acumulación de MP. 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/

Medaka (<i>Oryzias melastigma</i>)	Microesferas de PS (10-11 μ m, 0,758 \pm 0,217 \times 10 ⁵ partículas / L)	Se observan microplásticos en el tracto digestivo de larvas e intestino disecado de adultos	<ul style="list-style-type: none"> Disminución significativa de la producción de huevos por parte de las hembras 	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Medaka japonesa (<i>Tigriopus japonicus</i>)	50–60 micras	-	Aumento de la oviposición y aneurismas rotulianos secundarios.	Impactos en la salud de la contaminación ambiental de micro y nanoplasticos: una revisión https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/2
Medaka japonesa (<i>Tigriopus japonicus</i>)	Muestras ambientales de MP recolectadas de playas	-	<ul style="list-style-type: none"> La ingestión de MPs por parte de las larvas disminuyó la viabilidad, disminuyó la proporción cabeza / cuerpo, aumentó la actividad de la etoxiresorufina-O-deetilasa (EROD), roturas del ADN y alteración del comportamiento de natación 	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/ *Los microplásticos en los mariscos y las implicaciones para la salud https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40572-018-0206-z https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40572-018-0206-z humana
Medaka japonesa (<i>Tigriopus japonicus</i>)	PS MP / NP, 50 nm y 10 μ m	-	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de ROS con los correspondientes cambios en GSH y actividades de enzimas antioxidantes *experimentó estrés hepático después de ingerir fragmentos de polietileno virgen 	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Medaka japonesa (<i>Tigriopus japonicus</i>)	Muestras ambientales de MP recolectadas de playas	-	<ul style="list-style-type: none"> Los juveniles no mostraron síntomas excepto por un aumento en las roturas del ADN 	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/ *Los microplásticos en los mariscos y las implicaciones para la salud https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40572-018-0206-z https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40572-018-0206-z humana
Medaka (<i>Oryzias melastigma</i>)	Nanopartículas de PS (10 μ m a 2-200 μ g / L)	Acumulación de MP en branquias, intestino e hígado	<ul style="list-style-type: none"> Alteración endocrina reproductiva en función del sexo. La exposición prenatal a MP afectó el desarrollo temprano de la descendencia 	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Mejillón azul	4 a 10 μ m	-	Permanecer en el cuerpo	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/2
Mejillón azul	2 μ m, 100 nm	-	Se encontró desarrollo anormal y deformidad en ambos grupos de tratamiento con MNP, pero el crecimiento de las larvas de mejillón no se vio afectado.	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3
mejillón cebra de agua dulce (<i>Dreissena polymorpha</i>)	(1 μ m y 10 μ m) de microperlas de poliestireno virgen a 1 y 4 \times 10 ⁶ MP / L	-	La mezcla de dosis baja fue capaz de aumentar la actividad de la catalasa y disminuir la glutatión peroxidasa, lo que sugiere un (modesto) estrés celular	El cerebro plástico: neurotoxicidad de micro y nanoplasticos https://particleandfibretoxicology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12989-020-00358-y

mejillón mediterráneo (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)	microplásticos de poliestireno (0,11 µm, 0,005 a 50 mg / L)	-	alteraciones significativas en la expresión de genes asociados con la biotransformación, la respuesta al estrés celular y la inmunidad innata en las branquias (<i>hsp70</i> , a 50 mg / L) y glándula digestiva (<i>cyp11</i> , a 0.5 mg / L; <i>cyp32</i> , a 5 mg / L; <i>gato</i> , a 0.05 y 0.5 mg / L; <i>lys</i> , a 5 mg / L). Si bien estos cambios no muestran una clara dependencia de la dosis, el valor medio de la puntuación de daño del ADN aumentó después de la exposición a 0.05-50 mg / L. La actividad de la colinesterasa en la hemolinfa se redujo a 0.05–0.5 mg / L, pero no se observaron otros signos de neurotoxicidad. Lamentablemente, no se aportaron pruebas de la absorción real de los microplásticos de poliestireno *Los microplásticos de polietileno y poliestireno indujeron alteraciones nucleares y daño del ADN, además de una reducción de la actividad de AChE en las branquias, pero no en la hemolinfa, de las almejas.	El cerebro plástico: neurotoxicidad de micro y nanoplasticos https://particleandfibretoxicology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12989-020-00358-y
Ónix <i>crepidula</i>	2,0–2,4 mm	-	Causar un consumo de energía anormal	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3
<i>Oryzias latipes</i>	MPs de PS, 10 µm	Acumulación de MP en branquias e intestinos	• Disminuciones dependientes de la dosis en el número de huevos en hembras maduras.	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
<i>Oryzias latipes</i>	MPs de PS, 10 µm	Acumulación de MP en branquias e intestinos	• Enterocitos inflamados y alteraciones histológicas de la cavidad bucal, el riñón de la cabeza y el bazo.	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
<i>ostra</i>	160 nm –7,3 µm	-	Ningún efecto adverso medible sobre el crecimiento, el desarrollo o la capacidad de alimentación	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3
<i>ostra</i>	1 µm, 10 µm	-		Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3
<i>ostra</i>	2 µm, 6 µm	-	Reducir significativamente el número de folículos y la motilidad de los espermatozoides en las ostras, así como la producción y el desarrollo de larvas.	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3
<i>ostra</i>	50 nm	-	Disminución significativa de las tasas de fertilización de las ostras y del desarrollo embrionario-larvario, incluidas muchas deformidades, lo que da como resultado el estancamiento completo del desarrollo.	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3
peces disco (<i>Symphysodon aequifasciatus</i>)	polietileno fluorescente (70-88 µm, 200 µg / L)	-	La exposición a partículas coincidió con una actividad reducida de AChE y cambios en algunas enzimas digestivas	
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	Perlas de microplástico de PS virgen (5 µm) + cadmio (Cd)	-	• Aumento de la acumulación de Cd en hígados, tripas y branquias. • Mayor	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	20–100 nm	notario público	Penetran las membranas coroides del pez cebra en desarrollo, se acumulan en los tejidos embrionarios e influyen en la fisiología y el comportamiento, lo que conduce a una toxicidad intergeneracional o transgeneracional.	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/2
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	NP de PS (50 nm, 1 mg / L)	Acumulación en larvas de pez cebra	• Inhibición de la locomoción de las larvas. • Inhibición de la	Toxicidad de microplásticos y nanoplasticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/

Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	PS NP (media 51 nm)	Captación de las nanopartículas por embriones y larvas.	• Disminución de la frecuencia cardíaca	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	Microesferas de PS (70 nm, 5 µm y 20 µm, 20 mg / L)	Acumulación en branquias, intestino e hígado (solo las partículas de 5 µm)	• Histopatología hepática (signos de inflamación y acumulación de lípidos)	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	MPs de PS (10–45 µm, 20 mg / L)	Se observan microplásticos ingeridos en el intestino de las larvas	• Cambios significativos en el transcriptoma de las larvas de pez cebra después de 2 días de exposición.	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	MPs de PS vírgenes y fluorescentes (5 y 50 µm)	Se observan microplásticos ingeridos en el intestino de las larvas	• Cambios en la microbiota intestinal de las larvas	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	Perlas de microplástico de PS (perlas de 5 µm; 50 µg / L y 500 µg / L)	Acumulación de microplásticos en el intestino del pez cebra	• Inducción de inflamación y estrés oxidativo del intestino adulto del pez cebra.	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	Partículas de poliamidas (PA), polietileno (PE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC) (~70 µm) y PS (0,1, 1 y 5 µm)	-	Provoca daños intestinales, incluido el agrietamiento de las vellosidades y la división de los enterocitos, pero no causa, o rara vez, la muerte del pez cebra. Las partículas de 1.0 µm eran altamente letales, tenían la mayor acumulación, el nivel más bajo de Ca 2+ intestinal y la mayor expresión de glutatión S-transferasa 4	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/2
		-	• Daño intestinal en el intestino de los peces adultos	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	PE MP (10 a 600 µm a 2 mg / L)	Acumulación de MP en branquias e intestino	• Comportamientos anormales, que incluyen movimientos erráticos, convulsiones y cambios morfológicos asociados con la alimentación de peces adultos con MP.	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	Nanoplásticos PS, 25 nm	Acumulación de NP en intestino, páncreas y vesícula biliar de larvas expuestas	• Interrupción de la homeostasis de la glucosa	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	NP de PS y PE (con distribución de tamaño indicada como 90% <90 µm; 50% <50 µm; 10% <25 µm)	-	• Alteraciones en la mucosa intestinal y el epitelio branquial con mayor infiltración de neutrófilos	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	MPs de PE, 38,26 ± 15,64 µm	-	• Los MP indujeron cambios significativos en los parámetros morfométricos de las larvas.	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	Perlas de microplástico de PS virgen (5 µm) + cadmio (Cd)	-	toxicidad del Cd.	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
		-	• La exposición combinada causó daño oxidativo e inflamación en los tejidos.	
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	NP de PS (50 nm, 1 mg / L)	Acumulación en larvas de pez cebra	actividad de la acetilcolinesterasa. • Regulación al alza de los marcadores citoesqueléticos.	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/

Pez cebra (Danio rerio)	PS NP (media 51 nm)	Migraron al tracto gastrointestinal, la vesícula biliar, el hígado, el páncreas, el corazón y el cerebro durante todo el desarrollo.	<ul style="list-style-type: none"> Alteración del comportamiento de las larvas (hipoactividad de natación en larvas expuestas) Transferencia de nanopartículas de PS entre la madre y la descendencia Retraso / defecto en el inflado de la vejiga natatoria por larvas F1 expuestas 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (Danio rerio)	Microesferas de PS (70 nm, 5 µm y 20 µm, 20 mg / L)	-	Los MP de 5 µm pueden acumularse en las branquias, el hígado y el intestino, pero los MP de 20 µm no pueden acumularse en el tejido branquial. Además, los MP de 70 nm y 5 µm pueden inducir inflamación y acumulación de lípidos en el hígado, con cambios en el estrés oxidativo y el metabolismo energético de los lípidos.	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/2
		-	<ul style="list-style-type: none"> Elevación de las enzimas del estrés antioxidante Cambios en el perfil metabolómico del hígado 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (Danio rerio)	MPs de PS (10–45 µm, 20 mg / L)	Se observan microplásticos ingeridos en el intestino de las larvas	<ul style="list-style-type: none"> Regulación a la baja de genes involucrados en el desarrollo y la función neuronales. Cambios en genes asociados con el metabolismo. 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (Danio rerio)	MPs de PS vírgenes y fluorescentes (5 y 50 µm)	Se observan microplásticos ingeridos en el intestino de las larvas	<ul style="list-style-type: none"> Alteraciones metabólicas Cambios en la expresión de genes asociados con el metabolismo de glucosa y lípidos Reducción significativa del antioxidante GSH y la enzima catalasa 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (Danio rerio)	Perlas de microplástico de PS (perlas de 5 µm; 50 µg / L y 500 µg / L)	Acumulación de microplásticos en el intestino del pez cebra	<ul style="list-style-type: none"> Alteraciones significativas en el metaboloma y microbioma del intestino adulto del pez cebra. Las alteraciones se asociaron con estrés oxidativo, inflamación y metabolismo lipídico. 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (Danio rerio)	PE MP (10 a 600 µm a 2 mg / L)	Acumulación de MP en branquias e intestino	<ul style="list-style-type: none"> Regulación al alza del gen intestinal del citocromo P450 (<i>cyp 1a</i>) y la vitelogenina 1 del hígado 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (Danio rerio)	Nanoplásticos PS, 25 nm	Acumulación de NP en intestino, páncreas y vesícula biliar de larvas expuestas	<ul style="list-style-type: none"> Aumenta los niveles de cortisol y la hiperactividad 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez cebra (Danio rerio)	NP de PS y PE (con distribución de tamaño indicada como 90% <90 µm; 50% <50 µm; 10% <25	-	<ul style="list-style-type: none"> Cambios en la expresión de genes del sistema inmunológico, regulación negativa de genes correlacionados con la integridad del epitelio y el metabolismo de lípidos 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
		-	<ul style="list-style-type: none"> Cambios en el patrón de actividad diaria 	
Pez cebra (Danio rerio)	MPs de PE, 38,26 ± 15,64 µm	-	<ul style="list-style-type: none"> Los MP provocan una menor tasa de supervivencia de las larvas después de la eclosión de los huevos. 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez de roca negro (<i>Sebastes schlegelii</i>)	PS MP / NP (0,5 y 15 µm a 190 µg / L)	-	<ul style="list-style-type: none"> Cambios en el comportamiento, incluida la reducción de la velocidad de natación de los peces y el rango de movimiento. 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez de roca negro (<i>Sebastes schlegelii</i>)	PS MP / NP (0,5 y 15 µm a 190 µg / L)	-	<ul style="list-style-type: none"> Mayor consumo de oxígeno y excreción de amoníaco, reducción del crecimiento y la reserva de energía, con micropartículas que tienen un efecto mayor que las nanopartículas. 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez dorado (<i>Carassius auratus</i>)	PS MP / NP, 70 nm y 5 µm, a 10, 100 y 1000 µg / L	-	<ul style="list-style-type: none"> MP / NP inhiben el crecimiento de larvas de peces en niveles altos, aumento de la frecuencia cardíaca de las larvas y disminución de la velocidad de natación 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Pez dorado (<i>Carassius</i>)	PS MP / NP, 70 nm y 5 µm, a 10,	-	<ul style="list-style-type: none"> Observaciones de cambios histopatológicos en el intestino, liber y branquias, y daños a la piel y músculos 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos

auratus)	100 y 1000 µg / L		<ul style="list-style-type: none"> • MP / NPs marcadores de estrés oxidativo elevados y enzimas relacionadas 	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Piscardo de cabeza gorda (<i>Pimphales promelas</i>)	NP de PS (41,0 nm) y policarbonato (PC) (158,7 nm)	Fagocitosis de neutrófilos de nanopartículas de PS.	<ul style="list-style-type: none"> • A15:D95 desgranulación de gránulos primarios y liberación de trampas extracelulares de neutrófilos) 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Tilapia roja (<i>Oreochromis niloticus</i>)	NP de PS (0,1 µm, a 1, 10 y 100 µg / L)	PS MP que se encuentran en el intestino y las branquias y, en menor medida, en el hígado y el cerebro.	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibición de la actividad de la acetilcolinesterasa (AChE) del cerebro 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/
Tilapia roja (<i>Oreochromis niloticus</i>)	NP de PS (0,1 µm, a 1, 10 y 100 µg / L)	PS MP que se encuentran en el intestino y las branquias y, en menor medida, en el hígado y el cerebro.	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en los marcadores de las enzimas hepáticas 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32111046/

	Propiedades de los MP / NP utilizados	Acumulación	Notas sobre observaciones toxicológicas, patológicas o de comportamiento	Referencias
		invasión de tejido o captación celular		
Toxicidad / patología significativa				
Ratones	Microesferas de poliestireno (PS) de 5 µm y 20, 0.01–0.5 mg / día	Acumulación en intestino, hígado y riñón	<ul style="list-style-type: none"> • Signos de inflamación y acumulación de lípidos en el hígado 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://www.mdpi.com/1660-4601/17/5/1509/htm#B115-ijerph-17-01509
			<ul style="list-style-type: none"> • Perfil lipídico alterado y deterioro del metabolismo energético (reducción de los niveles de ATP) • Aumento de los marcadores de estrés oxidativo hepático, disminución de la acetilcolinesterasa 	
			Permanecen en el hígado, los riñones y el intestino; trastornos del metabolismo energético y de los lípidos e inflamación del hígado	Impactos en la salud de la contaminación ambiental de micro y nanoplásticos: una revisión https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/2
Ratones	Partículas de PS (0,5 y 50 µm)		<ul style="list-style-type: none"> • Disminución del peso corporal, hepático y lipídico. • Disminución de la secreción de moco en el intestino. • Alteración de la microbiota intestinal. 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://www.mdpi.com/1660-4601/17/5/1509/htm#B115-ijerph-17-01509
			<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en el perfil de lípidos hepáticos y la expresión de algunos genes relacionados con el metabolismo de los lípidos. 	
			Disminución de la mucosidad intestinal y cambios significativos en la riqueza y diversidad de la biota intestinal.	Impactos en la salud de la contaminación ambiental de micro y nanoplásticos: una revisión https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/2
	Perlas de PS y PE (0,5-1,0 µm) + retardantes de llama organofosforados (OPFR)	Perlas de PS y PE detectables en el intestino y el hígado	<ul style="list-style-type: none"> • Los MP mejoraron el estrés oxidativo, la neurotoxicidad y el trastorno metabólico inducidos por OPFR en comparación con el OPFR solo. 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://www.mdpi.com/1660-4601/17/5/1509/htm#B115-ijerph-17-01509
	Partículas de PS (5 µm, 100 y 1000 µg / L)	Acumulación en el intestino del ratón	<ul style="list-style-type: none"> • Causó disfunción de la barrera intestinal • Disbiosis de la microbiota intestinal inducida • Trastorno del metabolismo de los ácidos biliares inducido 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://www.mdpi.com/1660-4601/17/5/1509/htm#B115-ijerph-17-01509
	Partículas de PS (5 y 20 µm)	Acumulación en el intestino, el hígado y el riñón del ratón	<ul style="list-style-type: none"> • Modelado toxicocinético / toxicodinámico (TBTk / TD) de la bioacumulación de órganos y respuestas de biomarcadores • Cambios en los marcadores de estrés oxidativo y los del metabolismo energético y lipídico 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://www.mdpi.com/1660-4601/17/5/1509/htm#B115-ijerph-17-01509
	MPS de PS (5 µm)		<ul style="list-style-type: none"> • Histopatología hepática notable y marcadores séricos y hepáticos alterados. • Cambios en la transcripción de genes relacionados con el metabolismo de los glicolípidos. • Trastorno metabólico asociado con disbiosis de la microbiota intestinal y disfunción de la barrera intestinal. • La exposición materna a MPs resultó en efectos intergeneracionales y causó consecuencias metabólicas a largo plazo en las generaciones F1 y F2. 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://www.mdpi.com/1660-4601/17/5/1509/htm#B115-ijerph-17-01509
	MPS de PS (0,5 y 5 µm)		<ul style="list-style-type: none"> • La exposición a MP provocó cambios en los marcadores metabólicos séricos y hepáticos • La exposición materna a MP causó un trastorno metabólico de ácidos grasos en la descendencia F1 	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://www.mdpi.com/1660-4601/17/5/1509/htm#B115-ijerph-17-01509

MPs de PS (10-150 µm)	-	• La exposición a MP afectó la composición y la diversidad de la microbiota intestinal	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://www.mdpi.com/1660-4601/17/5/1509/htm#B115-ijerph-17-01509
		• Aumentó la secreción de IL-1α en el suero y disminuyó las células Th17 y Treg entre las células CD4 +	
		• La alta concentración de MP indujo la inflamación del intestino delgado	
Ningún efecto o efecto insignificante			
Partículas de PS (25 y 50 nm)	-	• Sin consecuencias neuroconductuales significativamente mensurables en ratas	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://www.mdpi.com/1660-4601/17/5/1509/htm#B115-ijerph-17-01509
Partículas de PS (1, 4 y 10 µm)	-	• Sin efecto significativo sobre el peso corporal / de órganos y sin signos patológicos por examen histológico	Toxicidad de microplásticos y nanoplásticos en sistemas de mamíferos https://www.mdpi.com/1660-4601/17/5/1509/htm#B115-ijerph-17-01509
		• Los análisis del reportero no revelaron evidencia de la aparición de inflamación y / o estrés oxidativo	
		• Número muy bajo de partículas absorbidas por el tejido intestinal	

Especie	Propiedades de los MP / NP utilizados	Acumulación / invasión de tejido o captación celular	Notas sobre observaciones toxicológicas, patológicas o de comportamiento	Referencias
lombrices de tierra (Eisenia fetida)	partículas de polietileno de baja densidad (100-200 μm ; 0,1-1,5 g / kg de suelo)		provocó daños en la piel tras la exposición a 1,5 g / kg de suelo. resultó en un aumento de la actividad de catalasay niveles de malondialdehído, lo que sugiere que los animales mostraron signos de estrés oxidativo. Además, la exposición a 1,0 g / kg y 1,5 g / kg de suelo durante 21 y 28 días, respectivamente, aumentó la actividad de la AChE [70].	El cerebro plástico: neurotoxicidad de micro y nanoplasticos https://particleandfibretoxicology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12989-020-00358-y
Gusanos	10-180 μm		Las partículas de plástico acumuladas no tuvieron efectos significativos en los organismos, ni mejoraron o debilitaron la bioacumulación de otras sustancias químicas.	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/2
Gusanos	200 micras		Se promovió el crecimiento y la fotosíntesis, y cuanto menor era el tamaño de partícula, más obvio era el efecto.	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3

Modelos de células humanas	Propiedades de los MP / NP utilizados	Captación celular	Notas sobre observaciones toxicológicas	Referencias
Toxicidad significativa				
Células monocíticas de sangre periférica humana (PBMC)	NP de PS carboxiladas (20-1000 nm)	Nanopartículas de 20 nm captadas de forma pasiva, mientras que las más grandes captadas de forma activa y pasiva	• NP de 20 nm citotóxicas para las células U937 y THP-1	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3
U937 (línea celular monocítica humana)			• NP de 20 nm estimularon la secreción de IL-8 en monocitos humanos e indujeron un estallido oxidativo medible en monocitos	
THP-1 (línea celular monocítica humana)			• NP de 500 y 1000 nm estimularon la secreción de IL-6 e IL-8 en monocitos y macrófagos, quimiotaxis y fagocitosis de bacterias por macrófagos, y provocó una explosión oxidativa de granulocitos	
DMBM-2 (línea celular de macrófagos de ratón)			• A concentraciones más bajas sin citotoxicidad, las NP de 20 nm inhibieron, mientras que las NP de 500 y 1000 nm aumentaron la fagocitosis de bacterias por DMBM-2	
T98G (línea celular de glioblastoma humano)	Micropartículas de PE (3-16 µm)		• Generación de ROS inducida	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3
HeLa (línea celular de adenocarcinoma cervical humano)	Partículas de PS (10 µm)		• Efecto citotóxico, con PE que tiene un valor de EC 50 más alto en comparación con PS en células T98G y HeLa	
Caco-2 (línea celular de adenocarcinoma colorrectal epitelial humano)	Partículas de PS (0,1 y 5 µm)	Captación celular de nanopartículas	• Baja toxicidad sobre la viabilidad celular, el estrés oxidativo y la integridad y fluidez de la membrana • Alteración del potencial de la membrana mitocondrial • Inhibición de la actividad del transportador del casete de unión al ATP (ABC) de la membrana plasmática	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3
Fibroblastos dérmicos humanos	Partículas de PP (~ 20 µm y 25-200 µm), ya sea dispersadas primero en DMSO o utilizadas directamente en medios de cultivo		• Cierta grado de citotoxicidad en dosis altas de partículas de 20 µm de tamaño más pequeño	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3
Células mononucleares de sangre periférica (PBMC)			• Bajo grado de inducción de citocinas proinflamatorias IL-6 y TNF-α a partir de PBMC	
HMC-1 (línea 1 de mastocitos humanos)			• Mayor liberación de histamina de las células HMC-1 y RBL-2H3	
RBL-2H3 (línea celular de leucemia basófila humana)			• Cierta grado de ROS inducción a altas dosis de partículas de 20 µm de tamaño más pequeño	
RAW 264.7 (línea celular de macrófagos de ratón)				
BEAS-2B (células epiteliales de pulmón humano)	MPS de PS (4,06 ± 0,44 µm a 1-1000 µg / cm ²)		• Efectos citotóxicos • Estrés oxidativo y respuestas inflamatorias • Alteración de la capa epitelial	Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3
A549 (línea celular epitelial alveolar humana tipo II)	Nanopartículas de PS (25 y 70 nm)	Captación celular de nanopartículas	• Disminución de la viabilidad y detención del ciclo celular inducida • Regulación al alza de las transcripciones de NF-κB y algunas citocinas proinflamatorias	Health impacts of environmental contamination of

			<ul style="list-style-type: none"> Alteración del ciclo celular y expresiones de proteínas relacionadas con la regulación de la apoptosis 	<p>micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3</p>
BEAS-2B (células epiteliales bronquiales humanas)	Nanopartículas de PS	Captación celular de nanopáticas de PS	<ul style="list-style-type: none"> PS NPs solo citotóxicos a concentraciones muy altas Los análisis metabolómicos revelaron cambios metabólicos relacionados con el estrés autofágico y del retículo endoplásmico (RE) 	<p>Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3</p>
Hs27 (fibroblastos humanos)	Nanopartículas de PS (100 nm a 5-75 µg / ml)		<ul style="list-style-type: none"> Estimulación de la producción de ROS. Estrés genotóxico y daño del ADN medidos con el ensayo de micronúcleos de bloqueo de citocinesis (CBMN) 	<p>Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3</p>
Efectos insignificantes o nulos				
Caco-2	NP de tereftalato de polietileno (PET) (ablación con láser, aproximadamente 100 nm)	Captación celular de NP	<ul style="list-style-type: none"> Sin efecto tóxico aparente Nano-PET se internaliza en compartimentos endolisosomales Nano-PET tiene una alta propensión a cruzar el modelo de barrera intestinal Caco-2 	<p>Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3</p>
Línea monocítica Caco-2 THP-1	Micropartículas de PS (1, 4 y 10 µm)	Captación celular de micropartículas de PS	<ul style="list-style-type: none"> Bajo cruce de la monocapa celular en Transwells incluso con micropartículas de 1 µm Sin pérdida pronunciada de la viabilidad celular excepto solo con dosis muy altas de micropartículas de 1 µm La absorción de micropartículas no afectó la diferenciación o polarización de los macrófagos 	<p>Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3</p>
Caco-2 y HT29-MTX-E12 (célula epitelial del colon humano) cocultivo	Nanopartículas de PS modificadas con carboxi (50 nm y 0,5 µm,	Captación celular de nanopartículas de PS	<ul style="list-style-type: none"> No hay citotoxicidad significativa a menos que sea en concentraciones muy altas 	<p>Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00870-9/tables/3</p>
BeWo b30 (célula trofoblástica placentaria humana)			<ul style="list-style-type: none"> No hay transporte significativo a través de las "barreras" intestinales y placentarias in vitro, pero se observó distribución intercelular 	
Se necesita más investigación para fundamentar una evaluación de riesgos del impacto de los microplásticos en los mariscos y, en consecuencia, en la salud humana.				<p>Los microplásticos en los mariscos y las implicaciones para la salud https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40572-</p>

Anexo 2

Detalle legislación microplásticos en otros países

Estados Unidos

El Congreso aprobó esta ley para responder a la preocupación por las microperlas en el suministro de agua. Después de lavarse la cara o cepillarse los dientes, las diminutas perlas de plástico se van por el desagüe, las cuales causan una preocupación debido a que las microperlas puede que no sean capturadas través de los sistemas de filtración del tratamiento y acaben en lagos, ríos y océanos, donde pueden ser confundidas con comida por los peces pequeños y otros animales salvajes. En esta ocasión se observa que la ley no apunta a la seguridad de los consumidores, ya que en ese entonces no existían pruebas que las microperlas de plástico tal como se utilizan en los cosméticos, causen un problema para la salud humana.

El proceso que condujo a la legislación estadounidense comenzó con organizaciones de todo el mundo y se relacionaban con la industria. En los EE. UU., las organizaciones sin fines de lucro Gyres Institute y Story of Stuff Project dirigieron una campaña para:

- (i) Educar al público sobre las microperlas
- (ii) Presionar a los fabricantes para que eliminen las microperlas de sus productos y
- (iii) trabajar con los legisladores para prohibir las microperlas.

La campaña tuvo éxito. Las principales empresas (por ejemplo, Proctor & Gamble y Unilever) acordaron eliminar gradualmente las microperlas de plástico de ciertos productos incluso antes de que se aprobara la legislación.

La legislación apuntó primero a nivel estatal, reconociendo que la legislación fragmentada en varios estados y jurisdicciones más pequeñas forzaría la legislación federal al crear problemas logísticos y de distribución para las empresas. En lugar de formular diferentes productos para diferentes jurisdicciones, los fabricantes se verían obligados a crear un solo producto que cumpliera con la legislación más estricta (McDevitt et al., 2017).

Reino Unido

Dichos de la Baronesa Jones de Whitchurch; *“Desde entonces, la concienciación sobre los peligros de las microperlas ha aumentado significativamente y cuanto más se ha enterado de ellos el público, más fuerte es el llamado a prohibir las microperlas. La última encuesta muestra que alrededor del 85% de la gente quiere que se tomen medidas para evitar que los plásticos contaminen los océanos. Además de las preocupaciones que se plantean entre partidos, tanto aquí como en los Comunes, ha habido algunas campañas muy eficaces por parte de Greenpeace, la Sociedad de Conservación Marina y otras ONG. Como se ha dicho, el maravilloso trabajo de David Attenborough y la serie “Blue Planet” también han ayudado a endurecer las actitudes contra la contaminación más amplia del mar por plásticos”* (England Government, 2017).

México

En el Palacio Legislativo de San Lázaro el día 27 de febrero de 2020, se presenta en detalle los antecedentes sobre la exposición de microplásticos y los impactos que estos ocasionan en el medio ambiente, haciendo referencia a:

- Dichos de la Doctora María Neira, directora del Departamento de Salud Pública, Medio Ambiente y Determinantes Sociales de la Salud de la OMS
- Estudios realizados por la Universidad de Exeter y el Laboratorio Marino de Plymouth, apoyados por los Laboratorios de Investigación de Greenpeace
- Estudios realizados en México por Greenpeace y el Centro para la Diversidad Biológica, donde coordinaron la elaboración del Estudio sobre el impacto de la contaminación por microplásticos en peces de México, en el cual hicieron pruebas para determinar el contenido de microplásticos en diversas especies de relevancia comercial.
- Artículo de Alexandra Farbiarz, publicado en marzo de 2018
- Legislación a nivel internacional que prohíbe los microplásticos: EE. UU, Canadá, Reino Unido, Suecia, Francia y Bélgica.

Según los antecedentes presentado, se propuso una modificación, se adiciona al artículo 269 de la Ley General de Salud Único un párrafo:

Artículo 269.

Queda prohibida la elaboración, importación y comercialización de productos cosméticos que contengan microplásticos. Se considerará microplástico a las partículas de plástico de hasta 5 milímetros de diámetro.

El presente decreto entrará en vigor en un plazo de un año contado a partir de su publicación en el Diario Oficial de la Federación (Ninla Elmawati Falabiba et al., 2020).

Posteriormente en la Cámara de Diputados del honorable Congreso de la Unión el día 30 de abril de 2021, se detalla antecedentes de los microplásticos y los impactos que estos ocasionan en el medio ambiente, haciendo referencia a:

- Declaraciones de la ONU
- Informe de Greenpeace denominado “Plásticos en el pescado y Marisco”
- Legislación a nivel internacional que prohíbe los microplásticos de EE. UU “Ley de Aguas Libre de Microesferas de 2015”, Suecia, Dinamarca Canadá y Reino Unido

Según los antecedentes presentado, se propuso la siguiente modificación:

Artículo 269. Para los efectos de esta ley, se consideran productos cosméticos las sustancias o formulaciones destinadas a ser puestas en contacto con las partes superficiales del cuerpo humano: epidermis, sistema piloso y capilar, uñas, labios y órganos genitales externos, o con los dientes y mucosas bucales con el fin exclusivo o principal de limpiarlos, perfumarlos, ayudar a modificar su aspecto, protegerlos, mantenerlos en buen estado o corregir los olores corporales o atenuar o prevenir deficiencias o alteraciones en el funcionamiento de la piel sana.

No se considerará producto cosmético una sustancia o mezcla destinada a ser ingerida, inhalada, inyectada o implantada en el cuerpo humano.

La secretaría dará a conocer mediante acuerdo o listados todas aquellas sustancias restringidas o prohibidas para la elaboración de productos cosméticos.

En la elaboración de productos cosméticos se podrán utilizar de manera inmediata aquellas sustancias que hayan sido evaluadas y aprobadas por la Secretaría, independientemente de su posterior inclusión en el acuerdo o listados para uso general.

Queda prohibida la venta, manufactura y distribución de productos cosméticos que contengan Microplásticos (Tiara Dewi, Muhammad Amir Masruhim, 2021).