



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
CARRERA DE BIOLOGÍA MARINA**

TÍTULO DEL TRABAJO PRÁCTICO

**EFEECTO DE MICROPLÁSTICO SOBRE LAS COMUNIDADES
CORALINAS**

TRABAJO PRÁCTICO

Previo a la obtención del título de
Biólogo marino

AUTOR:

ESTRELLA MARGOTH CAGUANA CHIRIBOGA

TUTOR:

BLGA. MARÍA HERMINIA CORNEJO R., Ph.D.

La Libertad- Ecuador

2020

TRIBUNAL DE GRADO



Firmado electrónicamente por:
**MAYRA MAGALI
CUENCA ZAMBRANO**

Blga. Mayra Cuenca, M.Sc

Decano (e)

Facultad de Ciencias del mar



Firmado electrónicamente por:
**JIMMY AGUSTIN
VILLON MORENO**

Ing. Jimmy Villón, M.Sc

Director (e)

Carrera de Biología Marina

MARIA HERMINIA
CORNEJO
RODRIGUEZ

Firmado digitalmente
por MARIA HERMINIA
CORNEJO RODRIGUEZ
Fecha: 2021.11.24
22:01:37 -05'00'

Blga. María Herminia Cornejo R., Ph.D.

Profesor-Tutor



Firmado electrónicamente por:
**ISABEL JANETH
GALARZA TIPAN**

Blga. Janeth Galarza Tipán., Ph.D.

Profesor Del Área

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme salud y fuerzas para seguir adelante. A mi familia por la comprensión, apoyo, motivación constante y por darme la oportunidad de seguir preparándome académica y profesionalmente; en especial a mis padres, Rosa Chiriboga y Olmedo Caguana y hermanos quienes me brindan su cariño, apoyo y confianza durante toda mi etapa universitaria.

A la Blga. María Herminia Cornejo R., Ph.D. por el apoyo constante, dedicación, por compartir sus conocimientos y las sugerencias brindadas en las diferentes actividades académicas y profesionales, y ser un gran apoyo en el desarrollo de este trabajo.

Asimismo, manifiesto mis agradecimientos a Sofia, por el apoyo constante e incondicional.

ÍNDICE

RESUMEN	i
INTRODUCCIÓN	ii
JUSTIFICACIÓN	iv
OBJETIVOS	v
OBJETIVO GENERAL	v
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	v
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Plásticos.....	1
1.2. Tipos de Plástico.....	4
1.3. Plásticos al medio marino	7
1.4. Clasificación del plástico por tamaño	9
1.5. Degradación del plástico	10
1.6. Microplásticos	10
1.7. Efectos de los microplástico en el medio marino	12
1.8. Arrecife de Coral	14
METODOLOGÍA.....	18
2.1. Materiales y Métodos	18
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN	19
3.1. Tipos de microplásticos utilizados en ensayos experimentales.....	21
3.2. Formas en como los microplásticos son adheridos e ingeridos por los corales.....	22
3.3. Impacto de los microplásticos sobre las comunidades coralinas	31
CONCLUSIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los aditivos para plásticos de acuerdo a su fusión.....	3
Tabla 2: Tipos de plásticos más comunes encontrados en el medio marino (acrónimos, nombre completo, densidad, porcentaje de producción y productos característicos). Basado en Andrady (2011) y Avio et al. (2017)	7
Tabla 3: Tipos de microplásticos utilizados en varios estudios con sus respectivos acrónimos y tamaño.....	20
Tabla 4: Estudios seleccionados para determinar las formas en como los microplásticos son adheridos e ingeridos por los corales	23
Tabla 5: Microplástico adherido o Ingerido por diferentes especies de corales de acuerdo al tamaño, representado en porcentaje (%), miligramos (mg) y partículas (pt) y tamaño del pólipo.....	25
Tabla 6: Tiempo de acondicionamiento de los microplásticos utilizados en diferentes estudios desde 2015-2020	29
Tabla 7: Respuestas de corales mencionados en diferentes estudios frente a los microplásticos e impacto que tuvo (%).	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Anuncios publicados en 1924, que muestra una de las principales aplicaciones de la baquelita (los materiales de mil usos).	1
Figura 2: Clasificación de los plásticos de acuerdo con sus propiedades térmica	4
Figura 3: Clasificación de los diferentes tamaños de plásticos encontrados en el medio marino basados en la clasificación de la UNEP 2011, CE 2013 y NOAA 2014.	9
Figura 4: Porcentual de los tipos de microplásticos utilizado en 16 estudios; PS: Poliestireno; LDPE: polietileno de baja densidad, HDPE: polietileno de alta densidad; PP: polipropileno; PE: polietileno; PC: policarbonato; PET: tereftalato de polietileno; PVC: cloruro de vinilo; MF: microplástico de lavado facial.	22

Figura 5: Comparación de ingesta de microplásticos frente alimento natural de los resultados de Servineli et al. (2020) y Martín et al. (2019), representado en porcentaje. MP: microplástico, A.N: alimento natural, MP-AL: microplástico frente alimento natural y AL-MP: alimento natural frente a microplásticos.	27
Figura 6: Número de microplásticos y Artemia ingerida a temperatura ambiente, resultados de Axworthy & Padilla (2019).	27
Figura 7: Comparación de ingesta entre microplásticos y huevos de camarón en salmuera (BSE) en un ensayo de 50/50.	28
Figura 8: Porcentual de las respuestas de ingesta frente a condiciones de microplásticos en los corales de diferentes estudios. A) Porcentual por experimentos; MB: microplásticos con biopelícula; ML: microplásticos limpios. B) Porcentual total por las diferentes condiciones de microplástico.	31
Figura 9: Porcentual de los impactos de los microplásticos sobre los corales reportado por diferentes estudios. A) Impacto en el desarrollo, alimentación y comportamiento de acuerdo al número de estudios. B) Respuestas de los corales frente a los microplásticos por el número de estudios; M: mucus; RT: Retención; ES: eficiencia endosimbiótica; C: calcificación; N: necrosis tisular; B: blanqueamiento; CE: consumo de energía; BN: Blanqueamiento y necrosis tisular; CMA: crecimiento de los microplásticos adheridos; AP: actividad de los pólipos; AS: alteraciones simbióticas; AC: aumento de clorofila.	37
Figura 10: Difusión de los efectos de los microplástico sobre las comunidades coralinas mediante una infografía.	45

RESUMEN

La contaminación por los microplásticos (partículas menores de 5mm) ha sido mencionada en una variedad de hábitats y para una diversidad de organismos marinos, donde se ha considerado como uno de los mayores problemas ambientales. La presencia de estas partículas en el medio marino puede afectar negativamente a los organismos de diferentes niveles de organización. El objetivo de este estudio es evaluar el efecto de los microplásticos sobre las comunidades coralinas a través de la búsqueda bibliográfica a fin de promover la difusión sobre su impacto. Para realizar dicho estudio se llevó a cabo una revisión bibliográfica, en diferentes bases de datos como Scholar Google, Science Direct Elsevier, Pubmed entre otras. Seleccionado artículos de acuerdo con términos de inclusión como microplastic, ingestion, corals, interaction y pollution. Analizando un total de 16 artículos, los datos recopilados se analizaron en una base de Excel y se discutió. Los hallazgos corroboran que los microplásticos más utilizados en los experimentos fue de 24% de polietileno y que la presencia de alimento natural promueve el consumo de microplásticos en los corales con un 84%, así mismo puede inhibir la alimentación hasta un 98%, de la misma manera el desarrollo de corales puede verse influenciada hasta un 67%. En general los microplásticos pueden perturbar a los corales.

Palabras claves: Microplásticos, efectos, corales, ingestión, blanqueamiento de coral, necrosis tisular y contaminación.

INTRODUCCIÓN

Los plásticos han jugado un papel importante en el desarrollo tecnológico e industrial, mejorando la calidad de vida humana. Sin embargo, en las últimas décadas, su sobreuso y una mala gestión de los residuos han provocado la acumulación de plástico en el medio ambiente (Schirinzi, 2020). Donde la producción mundial de plástico en 2012 fue de 288 millones de toneladas métricas (TM), teniendo un aumento del 620% desde 1975 (Jambeck *et al.*, 2015). Dada la alta persistencia, el aumento de las fuentes y su flotabilidad, estos residuos ya son omnipresentes en el medio marino, representando el 60 al 80% de la basura marina (Moore, 2008). En específico la mayor preocupación es sobre todo, el tema de los microplástico, tamaño de menor a 5 mm (Hall *et al.*, 2015).

De acuerdo a Villarreal (2017) las partículas de microplástico se clasifican en dos categorías dependiendo de su origen, el microplástico primario que proviene del uso de cosméticos, textiles en aguas residuales domésticas, pellet de plástico industrial y pinturas; y el microplástico secundario, producto de la fragmentación provocada por la radiación ultravioleta o meteorización fotolítica, termooxidativa, hidrolítica y procesos de abrasión causados por la acción mecánica del agua (Andrady, 2011).

La presencia de estos microplásticos en el medio acuático es un grave problema ambiental, dado que estos son responsables de problemas ecológicos, económicos, de salud y estéticos en el océano (Schirinzi, 2020). Sin embargo, el nivel del impacto de la acumulación del microplástico sigue siendo poco conocido, pero en algunos casos puede considerarse un contaminante nocivo por que puede actuar como sumidero, es decir, los plásticos absorben y transportan otros contaminantes en el agua de mar como metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes (Hall *et al.*, 2015). Además, puede proporcionar sustrato para comunidades microbianas complejas (Reichert *et al.*, 2018).

De acuerdo a Allen *et al.* (2017) la presencia de microplástico está tan extendida, que uno de los mayores problemas relacionados a esta, es la ingesta directa o indirecta por una amplia variedad de animales marinos como tortugas, aves, mamíferos, peces e invertebrados, donde se cree que se alimentan porque se parece a la presa, el tamaño adecuado o porque está cubierto por compuestos orgánicos, asimismo son ingeridos por los animales incidentalmente porque a su vez consumen organismos que los han ingerido.

Estos microplásticos consumidos son indigeribles y la mayoría no se descomponen en los intestinos, provocando un impacto físico que se traduce en laceraciones internas y en un bloqueo intestinal, falsa saciedad, reservas de energía reducidas, disminución en la capacidad de alimentación o fecundidad (Reichert *et al.*, 2018). Entre los invertebrados, los corales se caracterizan por no ser selectivos en su alimentación y esta situación los expone a ingerir fragmentos de microplástico como el poliestireno y el polietileno (Elías, 2015). Rotjan *et al.* (2019) reportaron por primera vez pequeñas cantidades de microplásticos dentro de los pólipos, envueltos por los tejidos digestivos, lo cual podría deberse a la similitud de tamaño del microplástico con el plancton (Tan *et al.*, 2020). Por otro lado los corales pueden ingerir por mecanismos de quimiorrecepción (poseen células especializadas en la adquisición de información sobre el ambiente químico), partículas de plásticos que hayan estado mucho tiempo en el agua y se hayan convertido en sustrato de microorganismos (Arroyo, 2010; Rocha *et al.*, 2020).

Los microplásticos, también pueden actuar como vectores de enfermedades y contaminantes; para algunas especies de corales, la exposición de microplástico resulta en una mayor producción de mucosa, blanqueamiento, necrosis, cambios en el rendimiento fotosintéticos y una disminución de las tasas de crecimiento y alimentación (Axworthy y Padilla, 2019; Reichert *et al.*, 2019). En función de lo anterior, el objetivo de este trabajo es realizar un estudio integrado de los efectos y causas de la contaminación por microplástico, sobre las comunidades coralinas mediante una revisión bibliográfica.

JUSTIFICACIÓN

Los arrecifes coralinos presentan una gran diversidad de especies, por lo que se considera los ecosistemas marinos más diversos del planeta, además brinda protección a la costa, sostiene importantes pesquerías y fomentan el turismo debido a sus valores estéticos y culturales (Molina, 2013). Se traducen entonces, en lugares de gran importancia ecológica y económica por lo que es esencial su conservación y protección de este ecosistema.

Para conocer el impacto que tienen los microplásticos en las comunidades coralinas se plantea un estudio integrado, donde se puede evaluar las posibles causas de la ingesta de microplástico, como una contribución al conocimiento sobre el peligro al que están expuestas las comunidades coralinas con relación a su desarrollo, alimentación y comportamiento. Además, es necesario destacar que se ha generado preocupación cuando la contaminación por microplástico se proyecta asociada a una mayor susceptibilidad a las enfermedades de corales (Rocha *et al.*, 2020). Asimismo, es fundamental comprender los impactos que generan los microplásticos a fin de tomar medidas de acción preventiva, en cuanto a la conservación de la biodiversidad. Al mismo tiempo, es importante promover divulgación de la información de trabajos recientemente ejecutados sobre las causas y efectos de la contaminación de microplástico, dado que la mayoría de los estudios se centran en mamíferos marinos, aves y peces, siendo así, que las investigaciones por invertebrados marinos aún son incipientes, sobre todo de las comunidades coralinas.

Como consecuencia, se considera importante esta investigación, fundamental para el desarrollo de nuevos proyectos no solamente desde punto de vista técnico o bibliográfico sino incluso experimental, favoreciendo una información más real en cuanto a la concentración de microplásticos en el ambiente y su evaluación integral de los efectos sobre todo en las zonas costeras del Ecuador.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de los microplásticos sobre las comunidades coralinas a través de la búsqueda bibliográfica a fin de promover la difusión sobre su impacto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los tipos de microplásticos registrados en comunidades coralinas a través de la búsqueda bibliográfica.
- Analizar la forma en como los microplásticos son adheridos e ingeridos a las comunidades coralinas a través de la búsqueda bibliográfica.
- Presentar los posibles impactos de la contaminación de microplástico sobre el desarrollo, alimentación y comportamiento de los corales a través de la búsqueda bibliográfica.
- Proponer una forma de difusión de estos procesos que afectan a las comunidades coralinas.

MARCO TEÓRICO

1.1. Plásticos

1.1.1. Definición y origen

El término “plástico” viene del griego *"Plastikos"* que significa “apto para modelar” y se refiere a la plasticidad de estos materiales durante su manufacturación. En química, el plástico es una mezcla de polímeros con aditivos, donde los polímeros (*poli-*, “*muchos*”+*-mer* “*partes*”) se componen de muchas unidades repetidas idénticas o similares, conocidas como monómeros, unidas por enlaces covalentes. Durante el último siglo, se han producido polímeros artificiales con propiedades específicas como resistencia, ligereza y flexibilidad (Schirinzi, 2020), lo que hace que sea extremadamente resistente a su degradación, convirtiéndose en unos de los mayores problemas ambientales (Campoy y Beiras, 2019). Por lo general son derivados de combustible fósiles o petróleo donde llegan a formar largas cadenas de monómeros (Schirinzi, 2020).

1.1.2. Producción Global

En 1907 Leo Baekeland en Nueva York desarrolló uno de los primeros plásticos sintéticos, la baquelita (resina de fenol-formaldehído), donde se caracterizó por ser resistente al calor y la plasticidad para moldear en una variedad de productos como joyas, botones o pipas (Schirinzi, 2020) (Figura 1)



Figura 1: Anuncios publicados en 1924, que muestra una de las principales aplicaciones de la baquelita (los materiales de mil usos).

Fuente: Schirinzi, 2020.

En la actualidad el plástico es uno de los materiales más utilizado en el mundo, por lo que hoy en día es difícil encontrar productos que no contenga plástico, y se ha estimado que alrededor del 50% de los productos plásticos que se fabrican están destinados a ser de un solo uso (Hopewell *et al.*, 2009).

La producción global de plástico ha tenido un aumento considerable en las últimas décadas; en 1960 se producía 1,5 millones de toneladas a nivel mundial, llegando a incrementar a 230 millones de toneladas en 2009 (Cole *et al.*, 2011; PlasticsEurope, 2010). Para el 2010 la producción creció a 275 millones de toneladas en 192 países costeros de acuerdo a Campoy y Beiras (2019). Para 2015 la fabricación de plástico tuvo un incremento de casi un 4%, llegando a 322 millones de toneladas anuales. En 2017 y 2018 de acuerdo a PlasticsEurope (2019) la producción de plástico a nivel mundial fue de 348 y 359 millones de toneladas respectivamente. Concluyen Geyer *et al.* (2017) que desde 1950 hasta 2015, la producción anual, incrementó más de 200 veces y proyectan que se alcancen los 2.000 millones de toneladas para 2050, si, la producción y el consumo continúa (Rojo y Montoto, 2017). Siendo así que el consumo de productos plásticos por cápita ha crecido aproximadamente 100kg por año (García, 2017).

Comerma (2014) calcula que, del total del plástico producido, un 79% ha terminado acumulándose en vertederos y en el medio ambiente, mientras que un 12% ha sido quemado y únicamente un 9% se ha reciclado. Además en un estudio realizado por Hatke y Vallester (2020) sobre la composición de desechos sólidos de 20 vertederos, el 16.10% pertenece a los plásticos, ubicándose en segundo lugar, después de los desechos orgánicos con 27,29%.

Por lo tanto, se estima que el 10% de los plásticos producidos termina en los océanos (Thompson, 2006). Además, Mendoza y Mendoza (2020) mencionan, que existen 50 trillones de fragmentos de plásticos en los océanos lo que corresponde al 60 u 80% de la totalidad de basura marina.

1.1.3. Aditivos de los plásticos

Se conoce que en la industria de los plásticos, la obtención de productos útiles, es posible si a la matriz polimérica, se añaden ciertos aditivos, los cuales son materiales que van dispersos físicamente, sin afectar la estructura molecular (Beltrán y Marcilla, 2011). Es decir que no están ligados químicamente a un polímero, por lo que se puede separar de los plásticos con la finalidad de mejorar tanto en el rendimiento, la funcionalidad y las propiedades del envejecimiento del material (Schirinzi, 2020). Estos aditivos se caracterizan por ser lipófilos, es decir que pueden penetrar las membranas celulares, interactuar bioquímicamente y causar efectos tóxicos (García, 2017).

Al incorporar aditivos al plástico, se pueden alterar considerablemente las propiedades del material; por ejemplo, en el caso del PVC se pueden obtener tubos rígidos, botellas, bandas elásticas, cables, muñecas, ropa entre otros. Los principales aditivos que se utilizan en los plásticos son antioxidantes, captadores de ácido, estabilizadores UV y térmicos, lubricantes, retardadores de llama, pigmentos, agentes antiestáticos y compuestos deslizantes (Tabla 1). Sin embargo, los plastificantes son los aditivos más utilizados en la industria del plástico, donde su objetivo es aumentar la elasticidad del material y facilitar su procesamiento, entre ellos, los ésteres de ftalato es la más utilizada, la adición de ftalato al PVC quebradizo hace que, se vuelva más suave.

Tabla 1: Clasificación de los aditivos para plásticos de acuerdo a su función

Función del aditivo	Tipo de aditivo
Aditivos que facilitan el procesado	Estabilizantes Lubricantes
Aditivos que modifican las propiedades mecánicas	Plastificantes Cargas reforzantes Modificadores de impacto
Aditivos que disminuyen costes de las formulaciones	Cargas Diluyentes y extendedores
Modificadores de propiedades superficiales	Agentes antiestáticos Aditivos antideslizamiento Aditivos antidesgaste Promotores de adhesión
Modificadores de propiedades ópticas	Pigmentos y colorantes Agentes de nucleación
Aditivos contra el envejecimiento	Estabilizantes contra luz UV Fungicidas
Otros	Agentes espumantes Retardantes de llama

Fuente: Beltrán y Marcilla, 2011.

Schirinzi (2020) señala que el 85% de todos los plastificante en Europa hace que se emplean en aplicaciones de PVC flexibles. Sin embargo, los ftalatos y el BPA (Bisfenol), liberados en el ambiente, llegan a afectar la reproducción, desarrollo e inducen aberraciones genéticas en una amplia variedad de organismos (García, 2017).

1.2. Tipos de Plástico

Los plásticos se pueden clasificar o agrupar de maneras diferentes dependiendo de la estructura básica, como lineales, ramificados y reticulados o, también por sus propiedades térmicas como termoplásticos, termoestables y elastómeros. Por ejemplo, los polímeros con cadenas rectas y ramificados son más densos y duros, mientras que los reticulados por los enlaces covalente entre cadenas de polímeros son más fuertes y estables (Figura 2) (Schirinzi, 2020).

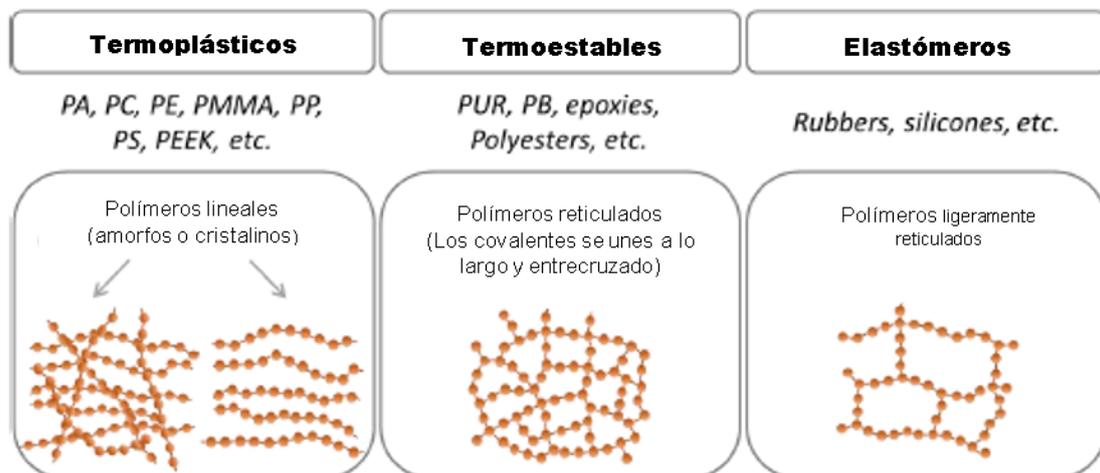


Figura 2: Clasificación de los plásticos de acuerdo con sus propiedades térmica

Obtenido: Schirinzi, 2020.

1.2.1. Termoplásticos

Son polímeros lineales, que pueden estar ramificados o no, puesto que no se encuentran entrecruzados, es decir que se pueden calentar y remodelar muchas

veces y reutilizar, debido a que son solubles en algunos disolventes orgánicos, con capacidad de fundir. Entre estos últimos se encuentran los Polietileno tereftalato (PET), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y policloruro de vinilo (PVC) (Beltrán y Marcilla, 2011). Para que un polímero tenga aplicación como termoplástico debe tener una temperatura de transición vítrea T_g (si se trata de un material amorfo), o una temperatura de fusión T_m (si se trata de un material cristalino), superior a la temperatura ambiente. Por lo general, los materiales termoplásticos presentan un buen conjunto de propiedades mecánicas, son fáciles de procesar y bastante económicos. La principal desventaja deriva del hecho de que son materiales que se funden, de modo que no tienen aplicaciones a elevadas temperaturas puesto que por encima de la T_g comienzan a reblandecer, con la consiguiente pérdida de propiedades mecánicas (Beltrán y Marcilla, 2011)

1.2.2. Termoestables

Son plásticos reticulados (entrecruzados), que se caracterizan por ser insolubles e incapaces de fundir, donde presenta resistencia térmica, química, rigidez, dureza superficial, buena estabilidad. Es decir que presentan estructuras poliméricas rígidas entrecruzadas que una vez fraguadas con calor no se pueden remodelar, por lo tanto, solo se puede ablandar o derretir una vez. Por ejemplo se encuentra los poliuretanos reticulados (PUR), las resinas de fenol-formaldehído (fenoplastos), las resinas de amina-formaldehído (aminoplastos) entre otros (Beltrán y Marcilla, 2011)

1.2.3. Elastómeros

Los elastómeros o cauchos son generalmente polibutadienos o compuestos que contienen dobles enlaces en la cadena principal, de modo que las cadenas de polímero se encuentran enrolladas sobre sí mismas, lo que les confiere gran flexibilidad. Presentan un leve entrecruzamiento, es decir que pueden

deformarse y luego volver a su forma original casi instantáneamente. Se caracteriza por ser materiales resistentes al aceite, grasa y al ozono, además por tener buena flexibilidad a bajas temperaturas. (Beltrán y Marcilla, 2011).

1.2.4. Composites

Son plásticos compuestos, caracterizados por estar formados por dos componentes inmiscibles que forman dos fases separadas, donde se combinan las ventajas de los termoplásticos o termoestables, por lo general son fibra de vidrio o de carbón, siendo así que estos materiales presentan un proceso complejo y caro.

En general los polímeros más usados y más abundantes son el polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, policloruro de vinilo, poliestireno, polietileno polipropileno y polietileno tereftalato (HDPE, LDPE, PVC, PS, PE, PP y PET, respectivamente, constituyendo entre ellos el 90% de la producción de plástico a escala global (Rojo y Montoto, 2017). (Tabla 2).

Tabla 2: Tipos de plásticos más comunes encontrados en el medio marino (acrónimos, nombre completo, densidad, porcentaje de producción y productos característicos). Basado en Andradý (2011) y Avio *et al.* (2017)

PET (PETE)	Polietileno tereftalato	1.38 - 1.39	7%	Botellas de bebida
LDPE	Polietileno de baja densidad	0.91 - 0.93	21%	Bolsas, anillas de refrescos, pajitas, redes
HDPE	Polietileno de alta densidad	0.94	17%	Envases de detergentes, leche y zumos
PVC	Policloruro de vinilo	1.20 - 1.45	19%	Construcción, electrónica, automóviles, tuberías
PP	Polipropileno	0.89 - 0.91	24%	Tapones de botellas, cuerdas, redes
PS	Poliestireno	1.04 - 1.11	6%	Envases / utensilios de comida
PES	Poliéster	1.40	-	Ropa
PA	Poliamida	1.13 - 1.5	<3%	Cepillos de dientes, hilos de pesca (nailon)

Fuente:: Campoy y Beiras, 2019.

1.3. Plásticos al medio marino

La presencia de residuos en el medio acuático (basura marina) es responsable de problemas ambientales, económicos, sanitarios y estéticos a nivel de los océanos (Rojo y Montoto, 2017). El impacto que llega a tener los desechos plásticos incluye daño y muerte de aves marinas, mamíferos, peces, reptiles dando como resultados del enredo, la ingestión, nuevos hábitats en desechos de plásticos flotantes y asfixia del lecho marino.

Dentro de este contexto, los microplásticos, pequeños fragmentos de plásticos, derivados de la descomposición del plástico son considerados como biodisponibles para los organismos en toda la red alimentaria (Cole *et al.*, 2011).

1.3.1. Fuentes del plástico al medio marino

Se han identificado diversas fuentes de plásticos en el ambiente marinos, siendo la principal aquella de procedencia terrestre, representando el 80% del total (Rojo y Montoto, 2017). Sin embargo, las cifras exactas sobre las entradas no se han podido determinar aún (Schirinzi, 2020), pero se calcula que aproximadamente corresponden al 20%.

1.3.2. Fuentes Terrestre

El plástico que proviene de los ambientes terrestres es consecuencia de una mala administración de las áreas ribereñas como playas, puertos, ríos, muelles, etc.; además de las zonas industrializadas o de mayor densidad poblacional. A si mismo, los desechos de regiones no ribereñas pueden ser transportados por procesos de escorrentía, vientos y ríos que terminan en los océanos, donde se estima que el 80% de los plásticos encontrados en medio marino, provenían de ríos cercanos. También los plásticos son dejados atrás por las personas que van a la playa como los turistas, provocando que los desechos acaben en mar de forma directa (Elías, 2015). Otra fuente de contaminación son las descargas de aguas residuales donde los fragmentos de plástico ingresan al medio marino a través de esta vía como también de drenajes pluviales. Las actividades agrícolas son otra fuente de contaminación debido a que utilizan plástico para cubrir los suelos y preservar la humedad y fertilidad; sin embargo, causa problemas cuando es mal administrada y este material es abandonado los campos de agricultura o cuando se permite que este sea llevado por el viento a otras zonas. A lo que se suman los eventos naturales externos como huracanes, tsunamis e inundaciones, que también favorecen este traslado.

1.3.3. Fuentes marinas

La entrada de plástico mediante fuente marina puede ser en forma directa la acuicultura y la pesca, en especial la pesca fantasma, es decir, el abandono o pérdida de aparejos como redes, líneas, anzuelos, trampas y boyas son los principales artículos que dañan hábitats bentónicos y hasta causa la muerte de

los organismos. Según Rojo y Montoto (2017) cada año se pierde en los océanos una 640.000 toneladas de aparejos representando un 10% de la basura marina. Así mismo las actividades de la acuicultura donde utilizan jaulas o redes de plásticos suspendidas en actividades de estructuras flotantes o sumergibles donde implica la utilización de pintura nanotecnología a base de plástico donde al pasar el tiempo puede degradarse o fragmentarse en medio marino.

1.4. Clasificación del plástico por tamaño

La clasificación de los plásticos de acuerdo con su tamaño ayudará a monitorear y cuantificar los posibles impactos al medio marino. De acuerdo a Campoy y Beiras (2019) se pueden dividir en cuatro clases, donde ha sido adoptada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), clasificándose como nano- (1 nm a 1 μ m), micro- (1 μ m a 5 mm), meso- (5 mm a 25 mm) o macroplásticos (> 25 mm). Sin embargo, existen diferencias en la forma de clasificación, es decir, diferentes tipos de protocolos de muestreo, lo que produce dificultad de poder comparar datos entre los estudios (Cole *et al.*, 2011) (Figura 3).

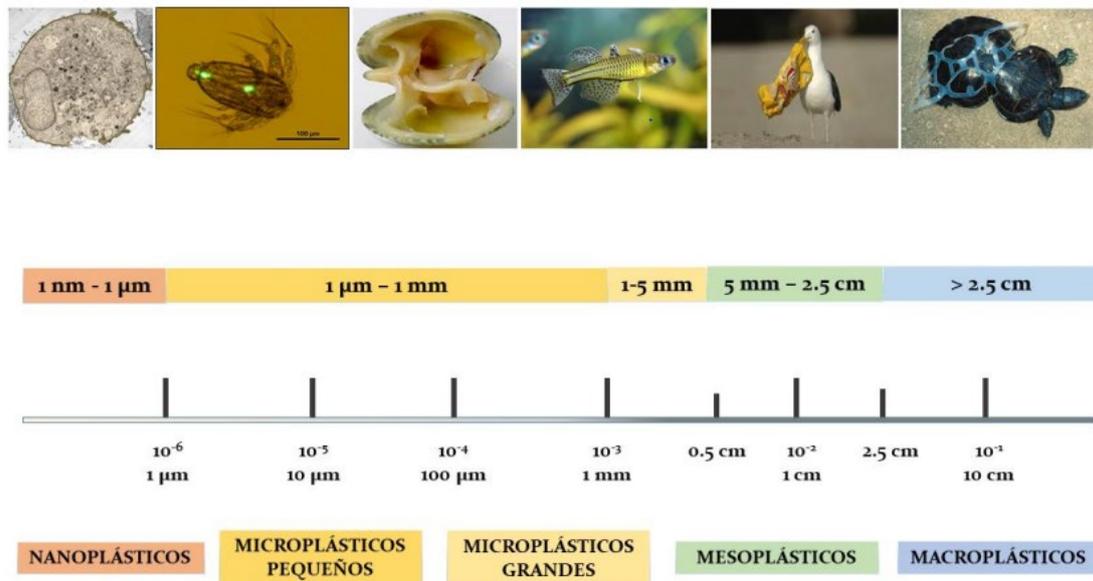


Figura 3: Clasificación de los diferentes tamaños de plásticos encontrados en el medio marino basados en la clasificación de la UNEP 2011, CE 2013 y NOAA 2014.

Fuente: Campoy & Beiras, 2019.

1.5. Degradación del plástico

La degradación de los plásticos en el medio ambiente es un proceso de múltiples etapas influenciado por varios factores bióticos y abióticos. Puede darse de cinco maneras: degradación mecánica/física, hidrólisis, foto degradación, termooxidativa y biodegradación. Esta degradación está influenciada principalmente por el entorno natural, en el mar las olas son la principal causa de deterioro mecánico y físico; otros procesos de degradación se deben a condiciones de salinidad, temperatura, nivel de oxígeno y la irradiación de luz. Sin embargo, la degradación en los fondos oceánicos es extremadamente lenta debido a los bajos niveles de oxígeno y temperatura, además la fotodegradación es más lenta en agua que en el aire y tierra, por lo que las playas presentan mejores condiciones para la degradación, dado que presenta mayor temperatura, disponibilidad de oxígeno e incidencia de rayos ultravioleta. A si mismo la degradación del plástico va a depender mucho del tipo de estructura por ejemplo los PE, PP, PS y PV, requieren procesos abióticos antes de la biodegradación. En sí los plásticos pierden resistencia y se fragmentan en partículas, pero sigue siendo plástico no degradado, de ahí proviene los microplástico, por lo que la degradación puede llevarse miles de años (Rojo y Montoto, 2017).

1.6. Microplásticos

El término microplásticos fue utilizado por primera vez por Thompson (2004) para caracterizar la acumulación de piezas microscópicas. Donde son considerados fragmentos o partículas con un diámetro menor a 5mm. Sin embargo, se ha atribuido a los microplásticos numerosos rangos de tamaño que varían de un estudio a otro, con diámetros de menor a 10mm, 5mm y 1mm. De acuerdo con Castillejo (2019), la definición más actual, hace referencia que son partículas sólidas, insolubles en agua, de forma irregular, con origen industrial primario o secundario y sus tamaños oscilan entre 1um y 5mm y cuya degradación es lenta.

1.6.1. Fuentes de microplástico

1.6.1.1. Microplásticos Primarios

Los microplásticos son los que se fabrican directamente con un tamaño inferior a 5mm. Estos plásticos se utilizan normalmente en limpiadores faciales, cosméticos y pasta de dientes. Además, los pellets de plásticos virgen forman parte de los microplástico primario con un tamaño de 2 a 5mm. (Germanov,2018). Entre los productos cosméticos se destaca los exfoliantes, que contienen micro perlas o micro exfoliante (tradicionalmente se utilizaba almendras molidas, avena o piedra pómez), cuyo uso ha aumentado drásticamente (Cole *et al.*, 2011); estos pueden entrar al medio marino mediante sistemas de drenaje industrial, doméstico y EDAR (Derraik, 2002).

1.6.1.2. Microplásticos Secundarios

Los microplásticos secundarios se caracterizan por formar parte de la fragmentación, de la descomposición de plásticos más grandes (Germanov,2018), debido a la exposición ambiental, donde existen procesos físicos donde la principal acción es la mecánica de las olas y el viento además de la radiación ultravioleta; químicos como la salinidad y biológicos donde actúan los microorganismos, procesos que reducen la integridad estructural de los desechos plásticos (Cole *et al.*, 2011). Los microplásticos secundarios pueden provenir de vertidos de agua, basura abandonada o de los propios vertederos y de actividades pesqueras.

1.6.2. Clasificación por tamaño

La necesidad de clasificar los microplásticos de acuerdo a su tamaño ha venido de Andrady (2011) donde emplea en tres términos diferentes para clasificar los microplásticos por debajo de los 5mm en función de las características físicas y los impactos biológicos, donde los clasifica en mesoplásticos (500 μm - 5 mm), microplásticos (50-500 μm) y nanoplásticos (<50 μm). Sin embargo, a medida

que se avanza las investigaciones, los rangos de tamaños seguirán adaptándose (Rojo y Montoto, 2017).

1.7. Efectos de los microplástico en el medio marino

La biota marina, se ha visto afectada por la incrementación de los microplásticos, donde los organismos son vulnerables a la exposición, existiendo un riesgo de causar daños, tanto, en desarrollo, comportamiento e incluso en la reproducción. La interacción de microplásticos con el organismo puede darse por la alimentación, más apropiadamente mencionado, por la ingesta, y como consecuencia por la transferencia de estos a lo largo de la cadena trófica y, por la incorporación de otros contaminantes. De acuerdo a Cole *et al.* (2013) los daños que causa los microplásticos en las comunidades de zooplancton son la obstrucción de los apéndices de alimentación, bloqueo del tubo digestivo, dificultad en el sistema circulatorio e ingreso de sustancias tóxicas. Sin embargo, el grado de daño es incierto, pero tiene potencial de ingerir pequeños plásticos a través de la filtración en un rango de 1,4 a 30,6µm con capacidad de absorción variable entre especies, etapa de vida y tamaño del microplástico. Además, los efectos de los microplásticos en cadena trófica resultaron por la bioacumulación y por tanto perjudicial para la salud en organismos desde los inferiores hasta los superiores. Además, el tamaño de partícula, como ya se mencionó con anterioridad, influye en los efectos ecológicos donde los microplásticos, de 1 a 5mm son susceptibles de afectar a la alimentación y digestión de ciertos organismos principalmente peces, y microplásticos pequeños, de 1µm a 1mm, son ingeridos de manera activa por pequeños invertebrados, así, mismo los microplásticos son expulsados sin efectos en la salud de los individuos por medio de heces y pseudoheces (Campoy y Beiras, 2019). Por lo tanto, la concentración de microplásticos en el medio marino continuará aumentando, llevando acumulación gradual y significativa en el litoral y medio ambiente marino.

1.7.1. Ingestión y toxicidad de los microplástico

La ingestión de los microplásticos es uno de los principales problemas globales emergentes. Existen diferentes estrategias de ingesta de los microplásticos por

los organismos, por ejemplo la selectividad por tamaño, debido a que se puede confundir con el alimento natural, otro factor es el color donde ha encontrado que los microplásticos de ciertas tonalidades en algunos casos causa confusión con la presa por parte de los organismos planctónicos (Rojo y Montoto, 2017). Así mismo los organismos filtradores tienen mayor probabilidad de ingestión de microplástico, sobre todo cuando hay presencia de alimento natural que promueve mayor absorción del microplástico. Por otro lado, el microplástico envejecido puede desarrollar biopelículas que genere una respuesta quimiosensorial (Cole *et al.*, 2013) y como consecuencia los microplásticos ingeridos, desarrollan ciertos grados de toxicidad: por ejemplo, puede haberse influenciado por la adsorción de pesticidas o de contaminantes orgánicos persistentes (COP) como bifenilos policlorados (PCBs), hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs) y éteres difenil policlorados (PBDEs), donde la concentración de toxicidad va aumentando a medida de transferencia trófica. Además, los microplásticos pueden contener monómeros residuales o aditivos tóxicos que pueden filtrarse a los organismos que lo ingieren. Se cree que la toxicidad depende del tamaño, donde a menor tamaño mayor toxicidad y, que los nanoplasticos son más tóxicos que los microplásticos, por lo que se ha observado que las partículas más grandes son expulsadas más rápido (Juliá, 2019).

1.7.2. Efectos de los microplástico en corales

El primer estudio realizado por la ingesta de microplásticos en los corales fue en el año 2015, donde encontraron pequeñas cantidades de microplásticos en los pólipos coralinos que fueron hallados en la gran Barrera de Coral (Elías, 2015). Además, se comprobó en experimentos de laboratorio que la ingestión de microplástico puede inhibir la ingesta de alimento produciendo saciedad y reducir las tasas de crecimiento del coral, al mismo tiempo, puede bloquear las cavidades digestivas (Hall *et al.*, 2015). Asimismo, la interacción, ingestión y posterior egestión del microplástico implica movimientos energéticamente costosos como de los tentáculos, la contracción de los tejidos y los movimientos de cilios en la superficie de los corales, por lo tanto, los microplásticos consumidos no aporta ningún valor nutricional provocando disminución de

energía (Reichert *et al.*, 2019). También se ha demostrado que la exposición a microplásticos induce una respuesta inflamatoria (actividad fagocítica mejorada) y pueden causar lesiones físicas y abrasiones en los tejidos de coral que se convierten en blanqueamiento y necrosis tisular. Por otro lado, los microplásticos promueven la colonización microbiana provocando brotes de enfermedades por agentes patógenos oportunistas (Chapron *et al.*, 2018). Otro factor es la toxicidad de los microplásticos, una vez ingerido puede afectar la salud a través de las posibles liberaciones de monómeros residuales, aditivos y catalizadores (Axworthy y Padilla, 2019). Además, los corales responden a la exposición de microplásticos con reacciones de limpieza produciendo una sustancia mucosa, la cual es liberada bajo situaciones de estrés, lo que representa la utilización del carbono asimilado por la fotosíntesis y de esta forma podría contribuir a mayores demandas de energía (Reichert *et al.*, 2019).

1.8. Arrecife de Coral

1.8.1. Características generales

Los arrecifes de coral son ecosistemas marinos tropicales y subtropicales formado por grandes acreciones de carbonato de calcio (CaCO₃), que forman estructuras bentónicas tridimensionales de gran complejidad, donde están constituidas por diversos organismos, principalmente de corales, que tienen la capacidad de formar su exoesqueleto y en conjunto al arrecife (Paz *et al.*, 2019; Vizcarra *et al.*, 2008). Las comunidades coralinas están formadas principalmente por una clase de cnidarios llamados corales escleractinios (del griego scleros, piedra), conocido comúnmente como corales pétreos que se caracteriza por su esqueleto duro (Lazcano *et al.*, 2020).

Los corales pétreos están compuestos por cientos de miles de pólipos individuales, que son los que construyen el esqueleto de la colonia, es decir que el esqueleto de cada pólipo es secretado por la epidermis en la base del pólipo formando una especie de taza que lo rodea. El interior de la taza contiene placas radiales alineadas llamadas septas, que son secretadas por los mesenterios y es donde están alojadas las gónadas de los corales (Rivera y Martínez, 2011).

Por lo tanto, solo la delgada capa de la superficie corresponde al coral vivo, con la capacidad de contraerse y expandirse.

Los pólipos de los corales mantienen una relación simbiótica fundamental con las microalgas llamadas zooxantelas, donde los pólipos le proporcionan hábitat para las microalgas, y en intercambio las microalgas proveen nutrientes a los pólipos, la que se genera a través de la fotosíntesis, permitiendo que los corales puedan calcificar eficientemente (EPA, 2018). Por este mismo hecho, es que los arrecifes se desarrollan en aguas claras, donde la cantidad de material en suspensión es relativamente baja, ubicándolos en aguas poco turbias y de baja productividad, además, se encuentran restringidos por la temperatura. Asimismo, la pigmentación de los corales es proporcionada por las microalgas, ya que los pólipos se caracterizan por ser transparentes (Muñoz y Quesada, 2006).

1.8.2. Importancia de los arrecifes de coral

Los arrecifes de coral son considerados como uno de los ecosistemas más diversos y complejos que existen en el planeta. Se calcula que el 25% de toda la vida marina, que incluye más 4,000 especies de peces, depende de los arrecifes de coral en algún punto de su ciclo de vida (EPA, 2018). Es decir que presenta alta riqueza biológica y son considerados prestadores de bienes y servicios. Entre los cuales se incluye sitios de reproducción y guardería de juveniles de diferentes especies de peces e invertebrados, hábitat, alimentación, protección de las costas, reducción de la erosión costera, provisión de material para la formación de playas y procesos biogeoquímicos, donde los niveles de carbono pueden llegar almacenar hasta el 4% del CO₂ (Paz *et al.*, 2019). Dentro del mismo contexto se destaca que esta situación presenta beneficios para los seres humanos como la pesquería que se desarrolla en estos ecosistemas, la industria de los acuarios, la industria farmacéutica y biotecnológica, la investigación científica, educación, recreación-turismo y sociales (valores culturales, tradicionales y espirituales); representando un valor económico enorme donde se calcula que, por año, el beneficio neto de los arrecifes coral de todo el mundo representa \$29.9mil millones (Muñoz y Quesada, 2006).

1.8.3. Alimentación de los corales

La mayoría de los corales pétreos se alimentan de zooplancton, poseen una boca central rodeada de tentáculos que están cargados de nematocistos o cápsulas punzantes que les ayuda a atrapar el alimento. Las presas al entrar en contacto con los pólipos son paralizadas por las toxinas que descargan los nematocistos y luego pasan a la boca a ser ingeridos (Rivera y Martínez, 2011).

1.8.4. Amenazas

La relación de coral-simbiótica depende de varios factores como la luz, la profundidad, el pH del agua y la temperatura del mar. Por ello, uno de las principales amenazas es el calentamiento global, que afecta seriamente a los arrecifes en todo el mundo; incrementos muy pequeños de temperatura del agua ocasionan que los corales expulsen a los simbiositos de sus tejidos, quedándose sin alimento y ocasionando que muera, produciéndose el fenómeno del blanqueamiento de coral (Lazcano *et al.*, 2020). Además, del deterioro causado por distintas actividades antropogénicas; los arrecifes coralinos están siendo destruidos a una velocidad alarmante por ejemplo, la sedimentación, la contaminación que puede darse por pesticidas y materia orgánica que contribuye a enfermedades en los corales, así, mismo el aumento de contaminación por desechos urbanos, la pesca excesiva de especies que regulan el crecimiento de las algas, donde estas se ven favorecidas sobre los corales en la competencia por espacio: Otros riesgos son los asociados a actividades pesqueras es el uso de redes de arrastre, chinchorros y otras artes de pesca y, al desarrollo costero acelerado, que conlleva un incremento en las necesidades a satisfacer y, por consiguiente una modificación en los flujos naturales y la acidificación de las del océano, debido al incremento del dióxido de carbono atmosférico que reduce las tasas de calcificación de los corales y aumenta la tasas de disolución química de los esqueleto (Vizcarra *et al.*, 2008).

De acuerdo Muñoz y Quesada (2006) la combinación de perturbaciones naturales como el fenómeno del niño, huracanes y tormentas, además de la

presencia de depredadores como la estrella mar de corona de espinas y los impactos de las actividades humanas, son la causa de destrucción de una décima parte de los arrecifes coralinos del mundo y han mermado gravemente casi un tercio de ellos. A este paso dentro de 50 años, casi tres cuartas partes de los arrecifes podrían quedar en ruinas. Por esto, cualquier perturbación que reduzca el área cubierta por corales o que limite su tasa de calcificación puede tener repercusiones serias para el mantenimiento del ecosistema, sobre todo cuando la tasa de crecimiento de coral es lenta, en condiciones óptimas donde crece hasta 1cm anualmente (Alva, 2015).

METODOLOGÍA

2.1. Materiales y Métodos

Para abordar el propósito de la investigación, se llevó a cabo una revisión bibliográfica mediante la recopilación de datos de artículos científicos publicados en distintas bases de datos como Scholar Google, Science Direct Elsevier, ACS Publications (Most Trusted. Most Cited. Most Read), Scielo y Pubmed. Y revistas como Marine Pollution Bulletin y Environmental Science & Technology. Donde se seleccionó artículos publicados a partir del primer estudio realizados en el año 2015 por N.M.Hall; K.L.E. Berry & M.O Hoogenboom sobre Microplastic Ingestión by Scleratinian Corals hasta la actualidad. Con la finalidad de seleccionar información de mayor relación sobre los efectos de los microplásticos en las comunidades coralinas asociadas a las formas de cómo llega los microplásticos a las comunidades coralinas y el impacto.

Esta investigación fue realizada entre julio a octubre del año 2020. Para su búsqueda se utilizó palabras claves, además de términos en inglés como microplastic, ingestion, corals, interaction y pollution. Posteriormente se seleccionó los estudios de acuerdo con los términos de inclusión. Después se eligieron los estudios de los artículos seleccionados de acuerdo con las necesidades de los objetivos, donde se contrastó toda la información recopilada, se analizó y se discutió. Los análisis estadísticos se realizaron en una base de Excel, determinando el porcentaje de los tipos de microplásticos más utilizados en el laboratorio, la comparación de cómo los microplásticos son adheridos e ingeridos y el porcentaje del impacto de los microplásticos.

Se realizó una infografía en el programa GENIALLY, como propuesta de difusión de los efectos de los microplásticos a las comunidades coralinas.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se seleccionaron estudios de acuerdo con ciertos criterios de inclusión como efectos de los microplásticos en corales e ingesta de microplásticos en corales, donde se relaciona si cumplen con ambos criterios. Se reportó un total de 16 artículos publicados desde el 2015 hasta la actualidad (2020). Se registró 8 tipos de microplásticos, utilizados en condiciones de laboratorio (Tabla 3), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el polietileno de baja densidad (LDPE), el polietileno de alta densidad (HDPE), el tereftalato de polietileno (PET), el policarbonato (PC), cloruro de vinilo (PVC) y el polietileno (PE). Son los tipos de microplásticos más abundantes en medio marino, debido a que son los plásticos más usados en el mundo Andrady (2011) menciona que los plásticos de embalaje son los más utilizados a nivel mundial, encontrándose varios tipos de plástico (PE, PP, PS, PET y PVC). De acuerdo a Haan *et al.* (2019) el polietileno, polipropileno y poliestireno son los tipos de microplásticos más abundantes en las aguas costeras del Mediterráneo.

Se reportó que el poliestireno fue el plástico con mayor frecuencia en los cinco giros tropicales (la costa de Australia, la Bahía de Bengala y el Mar Mediterráneo) (Eriksen *et al.*, 2014). Por otro lado, se estableció que el tamaño de los microplásticos oscila entre 1µm a 5mm de diámetro, encontrándose dentro de lo establecido y que los microplásticos más utilizados fueron las microesferas o microperlas con un tamaño de 1µm- 2,8µm, los microplásticos que provienen de la fragmentación se encontró entre 2-3mm y las microfibras fue de 3-5mm. Rojo y Montoto (2017) señalan que las microesferas son <500 µm y las partículas de microplástico precursores de macroplásticos son de 2-5mm. Desde el punto de vista de Cole *et al.* (2011) los microplásticos presentan rangos de tamaños que varían de un estudio a otro, siendo una problemática cuando se comparan datos. Varios estudios y The Marine Strategy Framework Directive- Good Environmental Status (MSFD-GES), definieron el rango de los microplásticos en un tamaño de 1µm a 5mm (Andrady, 2011; Schirinzi, 2020). Mientras Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) lo clasifica desde 1µm-1mm (Andrady, 2017).

Tabla 3: Tipos de microplásticos utilizados en varios estudios con sus respectivos acrónimos y tamaño.

Fuente	Tipo de microplástico	Acrónimos	Tamaño (µm-mm)
Hall <i>et al.</i> (2015)	Polipropileno	PP	10µm -2mm
Allen <i>et al.</i> (2017)	Poliestireno; Polietileno de baja densidad; polietileno de alta densidad; Tereftalato de polietileno; policarbonato; Cloruro de vinilo	PS, LDPE, HDPE, PP, PET, PC, PVC	500-100 µm; 125-1000 µm
Savinelli <i>et al.</i> (2020)	Polietileno	PE	2-3 mm
Rocha <i>et al.</i> (2020)	Polietileno de baja densidad; Cloruro de polivinilo	LDPE, PVC	63-125µm
Reichert <i>et al.</i> (2018)	Polietileno de alta densidad	HDPE	37-163 µm
Reichert <i>et al.</i> (2019)	Polietileno de alta densidad	HDPE	65-410 µm
Chapron <i>et al.</i> (2018)	Polietileno de baja densidad	LDPE	50µm
Axworthy & Padilla (2019)	Polietileno	PE	150-180µm
Syakti <i>et al.</i> (2019)	Polietileno de baja densidad	LDPE	<100µm; 100-200 µm; 200-500 µm
Okubo <i>et al.</i> (2018)	Poliestireno -	PS -	3-6-11µm-17.3µm
Mouchi <i>et al.</i> (2019)	Polietileno de baja densidad	LDPE	500µm
Tan <i>et al.</i> (2020)	Poliestireno	PS	1 µm
Rotjan <i>et al.</i> (2019)	Polietileno	PE	170.5-230.8 µm
Hankins <i>et al.</i> (2018)	Polietileno; Poliestireno	PE, PS	90-106 µm; 212-250µm; 425-500 µm; 850-1000µm; 1,7-2mm; 2,4-2,8mm; 3-5mm
Lanctôt <i>et al.</i> (2020)	Polietileno de alta densidad	HDPE	106-125µm
Martin <i>et al.</i> (2019)	Polietileno	PE	215-250µm; 53-63µm; 125-150µm; 300-355 µm; 425-500 µm

Elaborado por: Caguana, 2020.

3.1. Tipos de microplásticos utilizados en ensayos experimentales.

De los 16 artículos seleccionados, se reportó un total de 24 veces (100%) de microplástico utilizado en los ensayos experimentales, independientemente del tipo de microplástico. En la figura 4 se observa que el polietileno (PE) fue utilizado con mayor frecuencia con 24%, es decir que 6 estudios trabajaron con este tipo de microplástico, señalando que las microesferas verdes de polietileno fluorescentes -cospheric (1,002-1,13g/cc) fueron las más representativa, seguido el polietileno de baja densidad (LDPE) con 20% (5 veces), en tercer lugar, se encuentra el poliestireno (PS) con 16% (4 veces), debido a que se encuentran entre los plásticos más abundantes en el medio marino como en los sedimento y en aguas superficiales. Sin embargo, en el estudio de Rotjan *et al.* (2019) reportó por primera vez la ingestión de microplástico en corales en la naturaleza donde se registraron 123 partículas de plástico en los pólipos, de las que el 56% de las partículas fue de poliamidas, seguido del poliéster con 18% y en menor porcentaje el cloruro de vinilo (PVC) con 3%, concordado que el cloruro de vinilo (PVC) es uno de los tipos de microplásticos menos utilizados con 8% (2 veces), asimismo el tereftalato de polietileno (PET) y el policarbonato (PC) fueron reportados una solo ves (4%). Mientras Tan *et al.* (2020) señalaron la presencia de microplásticos en todas las muestras de agua superficiales cerca de los arrecifes deshabitados en las Islas Nasnshas (China), donde prevaleció el microplásticos transparentes con un 56,9% de todas las clases de colores, siendo identificado como el polietileno transparente (PE). Esto es debido a que polietileno es usado ampliamente en envasados y transporte de alimentos. Además, la presencia de los microplásticos en el medio marino ha llevado a realizarse varios estudios sobre las respuestas de ciertos organismos frente a los microplásticos

Cole *et al.* (2013) capturó a los copépodos ingiriendo microplástico en un video, donde utilizó perlas de poliestireno, debido a que son omnipresentes en las muestras recogidas del mar en todo el mundo. Asimismo, Besseling *et al.* (2014) mencionan la utilización de nanoplásticos de poliestireno *Scenedesmus obliquus* y *Daphnia magna*, debido a que es uno de los plásticos comerciales más

utilizados en el mundo. Cabe recalcar que el microplástico de lavado facial (MF) (4%) no se identificó el tipo de material.

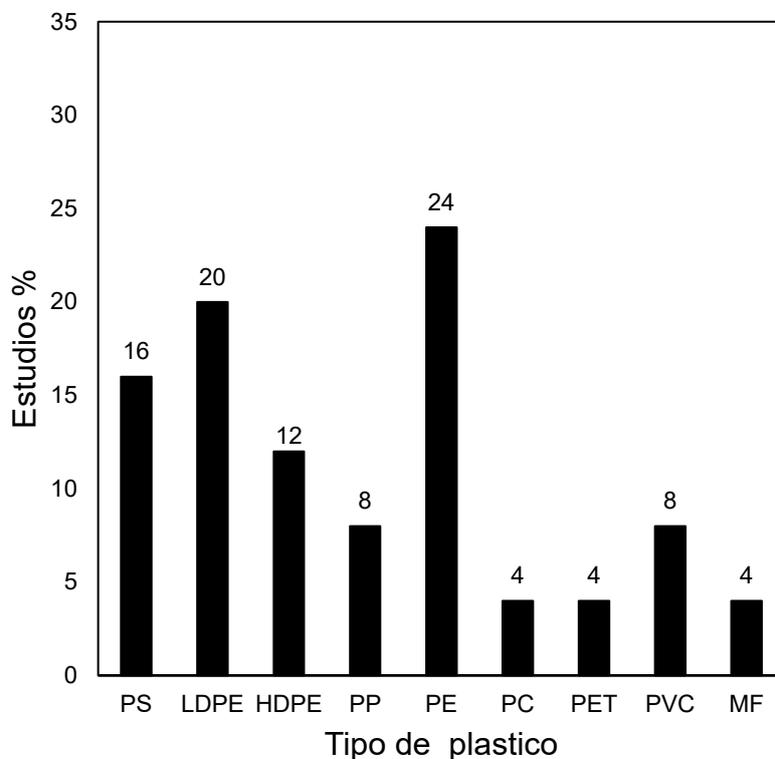


Figura 4: Porcentual de los tipos de microplásticos utilizado en 16 estudios; PS: Poliestireno; LDPE: polietileno de baja densidad, HDPE: polietileno de alta densidad; PP: polipropileno; PE: polietileno; PC: policarbonato; PET: tereftalato de polietileno; PVC: cloruro de vinilo; MF: microplástico de lavado facial.

Fuentes: Hall *et al.* (2015); Allen *et al.* (2017); Savinelli *et al.* (2020); Rocha *et al.* (2020); Reichert *et al.* (2018); Reichert *et al.* (2019); Chapran *et al.* (2018); Axworthy & Padilla (2019); Syakti *et al.* (2019); Okubo *et al.* (2019); Mouchi *et al.* (2019); Tan *et al.* (2020); Rotjan *et al.* (2019); Hankins *et al.* (2018); Lanctot *et al.* (2020); Martin *et al.* (2019).

Elaborado por: Caguana, 2020.

3.2. Formas en como los microplásticos son adheridos e ingeridos por los corales

En esta sección se discutió las formas en que los microplásticos son adheridos e ingeridos por las comunidades coralinas, donde los resultados se presentan en las siguientes publicaciones (Tabla 4).

Tabla 4: Estudios seleccionados para determinar las formas en como los microplásticos son adheridos e ingeridos por los corales

Estudios	Tema	Especie
Okubo <i>et al.</i> (2018)	Microplastics disturb the anthozoan-algae symbiotic relationship	<i>Aoptasia sp</i>
Axworthy <i>et al.</i> (2019)	Microplastics ingestion and heterotrophy in thermally stressed Corals	<i>Montipora capitata</i> <i>Pocillopora damicornis</i> ,
Rotjan <i>et al.</i> (2019)	Patterns, dynamics and consequences of microplastic ingestion by the temperate coral, <i>Astrangia poculata</i>	<i>Astrangia poculata</i> <i>Acropora emprichi</i> <i>Goniastrea retiformis</i> <i>Pocillopora verrucosa</i>
Martin <i>et al.</i> (2019)	Adhesion to coral surface as a potential sink for marine microplastics	<i>Pocillopora verrucosa</i>
Allen <i>et al.</i> (2017)	Chemoreception drives plastic consumption in a hard coral	<i>Astrangia poculata</i>
Rocha <i>et al.</i> (2020)	Do microplastics affect the zoanthid <i>Zoanthus sociatus</i> ?	<i>Zoanthus sociatus</i>
Hall <i>et al.</i> (2015)	Microplastic ingestion by scleractinian corals	<i>Dipsastrea pallida</i>
Syakit <i>et al.</i> (2019)	Bleaching and necrosis of staghorn coral (<i>Acropora Formosa</i>) in laboratory assays: Immediate impact of LDPE microplastics	<i>Acropora formosa</i>
Servineli <i>et al.</i> (2019)	Microplastics impair the feeding performance of a Mediterranean habitat-forming coral	<i>Astroides calycularis</i> <i>Acropora millepora</i> <i>Acropora humilis</i> <i>Porites cylindrica</i> <i>Porites lutea</i> <i>Pocillopora verrucosa</i> <i>Montrstrea cavernosa</i>
Reichert <i>et al.</i> (2017)	Responses of reef building corals to microplastic exposure	<i>Orbicella faveolata</i>
Hankins <i>et al.</i> (2018)	Scleractinian coral microplastic ingestion: Potential calcification effects, size limits, and retention	

Elaborado por: Caguana, 2020.

3.2.1. Tamaño del microplástico

Una de las formas en que los microplásticos llegan a las comunidades coralinas es en función del tamaño de las partículas y de sus concentraciones en el medio, donde las especies de corales pueden llegar a confundir los microplásticos con su alimento natural, debido a que las partículas pueden tener el mismo tamaño que su presa. En las condiciones de laboratorio se documentó que la incorporación de microplásticos dependía del tamaño, donde podrían adherirse en la superficie del cuerpo o tentáculos, la ingestión en el sistema digestivo (tentáculos de mesenterio) o provocar enfermedades.

El microplástico adherido o ingerido de acuerdo con los tamaños utilizados en los experimentos fue más alto en los microplásticos de menor tamaño. En el experimento de Okubo *et al.* (2018) utilizaron microplástico de 3; 6 y 11 μm , donde observaron que microplásticos de 3 μm eran más numerosas en los tentáculos, en cambio 6 y 11 μm presentó menor cantidad. Asimismo, *Orbicella faveolata* tuvo mayor preferencia con microplásticos más pequeños donde el 96,7% (425-500 μm , 850-1000 μm) y un 20% (1,7-2mm y 2,4-2,8mm). Sin embargo, los corales responden de diferentes maneras frente a los microplásticos como *Montastraea cavernosa* tuvo una ingesta de 100% (425-500 μm , 850-1000 μm , 1,7-2mm) y un 90% (2,4-2,8mm). Cabe mencionar que los factores, dependen tanto de la especie, como del tamaño del pólipo. De acuerdo a Rotjan *et al.* (2019) las especies con pólipos grandes pueden ser más capaces de hacer frente a la contaminación microplástica porque una cavidad más grande, permite la ingestión de presas nutritivas y elemento no nutritivos que ocupa espacio gastrovascular como en *Pocillopora verrucosa* (1-2mm) que tuvo mayor ingestión con 79% de microplásticos, donde partículas tenía el mismo tamaño que su alimento natural (10-100 μm). En cambio *O. faveolata* se caracteriza por tener pólipos pequeños, observado menor ingestión, a diferencia *M. cavernosa* (con pólipos grande), tuvo mayor ingestión de los microplásticos. Contrario a *Acropora formosa*. con un tamaño del pólipo oscila entre 2,75-3,23mm, presentó mayor impacto por los microplásticos pequeños <100 μm , que de mayor tamaño 100-200mm, 200-

500mm, donde ingirió entre 9-477mg. Mientras en *Acropora humills*, *Acropora millepora*, *Pocillopora verrucosa* y *Pocillopora damicomis* presentó pólipos de tamaño 1-2mm, presentando 100-70%, contacto con los microplásticos a diferencia de *Porites lutea* y *Porites cilíndrica* con pólipos de 1,2-1,5mm donde no hubo interacción (0%) con los microplásticos, con un tamaño de microplástico (37-163µm). Sin embargo, la ingesta fue 0% en las especies de *Acropora* spp., *P. damicomis* y *Porites* spp. (Tabla 5).

Tabla 5: Microplástico adherido o Ingerido por diferentes especies de corales de acuerdo al tamaño, representado en porcentaje (%), miligramos (mg) y partículas (pt) y tamaño del pólipo.

Especie	Tamaño del Microplásticos	adherido o Ingesta (%; mg; pt)	Tamaño del Pólipo (mm)
<i>Aiptasia sp</i>	3 µm	> 500 Pt	50mm
	6 µm	280 pt	
	11 µm	147 pt	
	425-500um y 850-1000um	96,7%	
<i>Orbicella faveolata</i>	1,7-2mm y 2,4-2,8mm	20%	5mm
	425-500um, 850-1000um, 1,7-2mm	100%	
<i>Montastraea cavernosa</i>	2,4-2,8mm	90%	5,5-7,5mm
	10-100um	79%	
<i>Pocillopora verrucosa</i>	<100um	9-477mg	1-2mm
<i>Acropora formosa</i>	37-163 µm		2,75-3,23mm
<i>Acropora humills</i> , <i>Acropora millepora</i>	37-163 µm	70-100% y 0%	1-2mm,
<i>Pocillopora verrucosa</i>	65-410 µm		
<i>Pocillopora damicomis</i>	65-410 µm		
<i>Porites lutea</i>	37-163 µm	0 %	de 1,2-
<i>Porites cilíndrica</i>	37-163 µm	0%	1,5mm

Fuente: Reichert et al. (2018); Reichert et al. (2019); Okubo et al. (2019); Hankins et al. (2018); Martin et al. (2019).

Elaborado por: Caguana, 2020.

3.2.2. Presencia de alimento natural

Se ha documentado que la presencia de alimento natural contribuye a la ingesta de microplásticos en los corales, donde se observa que en el tratamiento de solo microplástico presentó menor porcentaje tanto en el estudio de Savinelli *et al.* (2020) y Martin *et al.* (2019) con 31,92% y 83,8% respectivamente, asimismo la ingesta de microplásticos frente alimento natural fue menor con 57% y 84%, mientras que la ingesta de alimento natural tuvo mayor porcentaje con 75,72 y 92,7%, igualmente en el tratamiento de alimento natural frente al microplástico con 54% y 89,9%; sin embargo existe una disminución de alimento natural frente a los microplástico comparado con el tratamiento de solo alimento natural con una diferencia de 21, 72% y 2,8%, en cambio se observa un aumento de ingesta de microplástico en el tratamiento de MP-AL, comparado al tratamiento de solo microplásticos, con una diferencia de 25,08% y 0,2% (Figura 5.). Cabe recalcar que en el estudio de Savinelli *et al.* (2020) presentaron menor porcentaje en todos los tratamientos, a comparación de los tratamientos de Martin *et al.* (2019) donde sus porcentajes fueron mayores. Además, Axworthy y Padilla (2019) determinaron, en los tratamientos de microplásticos tanto para especie *Montipora capitata* y *Pocillopora damicornis*, la ingesta fue ausente entre los 200 pólipos examinados a temperatura ambiente, en cambio la ingesta de alimento natural (Artemia) para *M. capitata* fue 12,3 artemia/200p y *P. damicornis* con 66,45 artemia/200p. A diferencia de los tratamiento mixtos MP& Artemia, tuvo un aumento de ingesta de microplásticos frente a alimento natural entre las dos especies *M. capitata* y *P. damicornis* con 0,3 y 8 partículas/200p. Sin embargo, no hubo una diferencia significativa en el tratamiento de artemia con artemia & MP, en la especie *M. capitata* con 12,1 artemia/200p. Asimismo, *P. damicornis* con 73,15 artemia/200p, con 8 artemia/200p de diferencia (Figura 6). Al contrario de Rotjan *et al.* (2019) reportaron que los corales prefirieron microplásticos que alimentos naturales que fueron los huevos de camarón en salmuera (BSE) (Figura 7), determinando que, de los 4 artículos analizados en este punto, los corales ingieren en menor porcentaje los microplásticos a diferencia del alimento natural, sin embargo, el consumo de estos, aumenta frente el alimento natural, atribuyendo que es un vector, que lleva a los corales a consumir microplásticos, en cambio la

ingesta de alimento natural se ve influenciada negativamente en presencia de microplásticos.

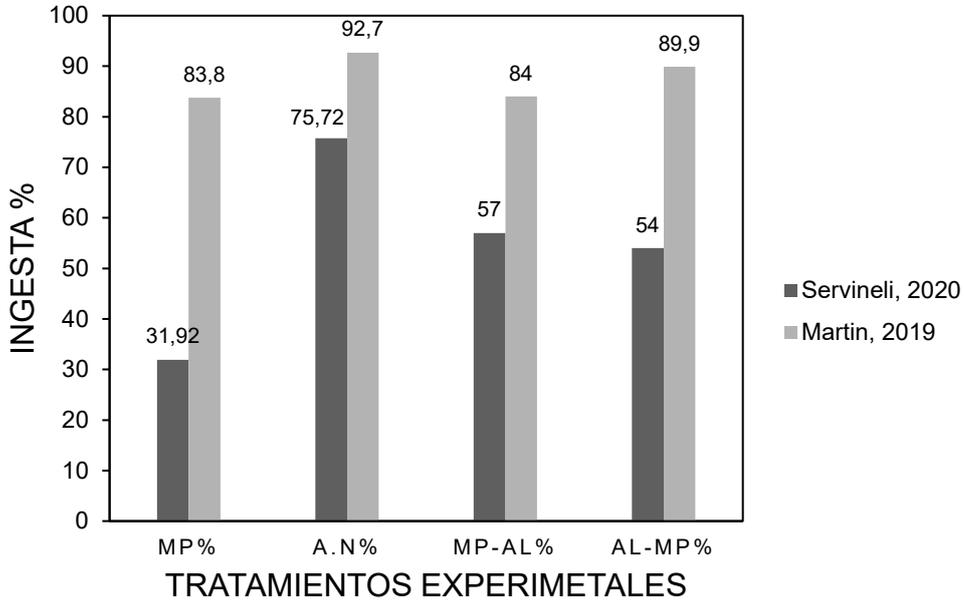


Figura 5: Comparación de ingesta de microplásticos frente a alimento natural de los resultados de Servineli et al. (2020) y Martín et al. (2019), representado en porcentaje. **MP:** microplástico, **A.N:** alimento natural, **MP-AL:** microplástico frente a alimento natural y **AL-MP:** alimento natural frente a microplásticos.
Fuente: Servineli et al. (2020), Martín et al. (2019).
Elaborado por: Caguana, 2020.

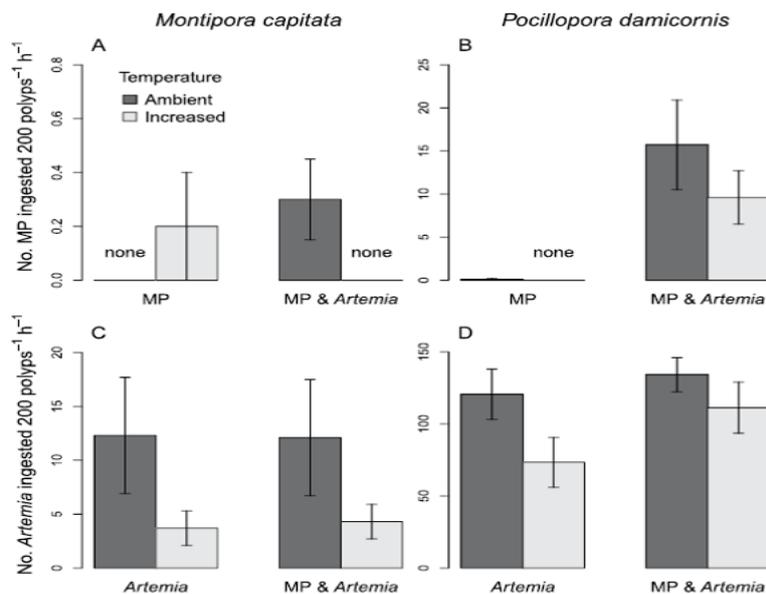


Figura 6: Número de microplásticos y Artemia ingerida a temperatura ambiente, resultados de Axworthy y Padilla (2019).
Fuente: Axworthy y Padilla (2019).

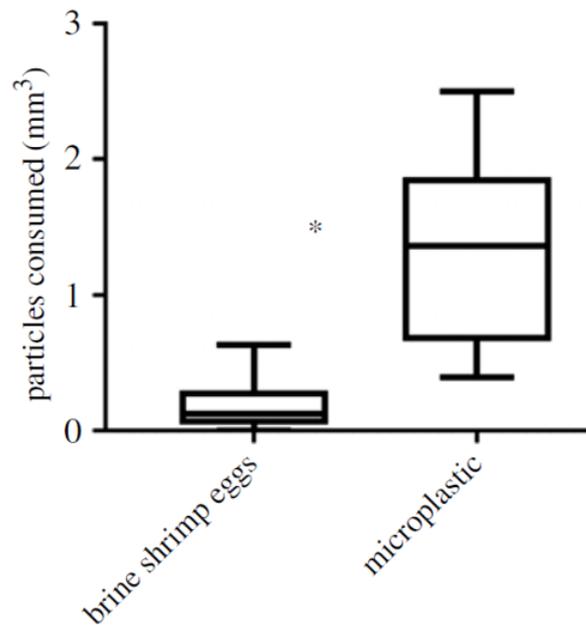


Figura 7: Comparación de ingesta entre microplásticos y huevos de camarón en salmuera (BSE) en un ensayo de 50/50

Fuente: Rotjan *et al.*, 2019.

3.2.3. Quimiorrecepción

En la siguiente tabla (6), se observa el tiempo de acondicionamiento para los experimentos de microplásticos con biopelícula que va desde 4 horas hasta dos semanas en agua de mar tratada, que permite la colonización de comunidades microbianas sobre el sustrato del microplástico con el fin de imitar las condiciones naturales de mar. De acuerdo a Lobelle y Cunliffe (2011) las biopelículas se desarrollan rápidamente sobre los desechos plástico en el agua del mar. Además, la formación de la biopelícula visible a simple vista, se da en una semana y provoca cambios físicos, aumento significativo de la hidrofilia y flotabilidad positiva a neutra en dos semanas (Oberbeckmann *et al.*, 2016). Sin embargo López *et al* (2019) comentan que las biopelículas bien desarrolladas en la superficie del plástico se producen aproximadamente en 7 días en agua o sedimento. Cabe recalcar que los datos utilizados son independientemente del tipo de microplástico y especie.

Tabla 6: Tiempo de acondicionamiento de los microplásticos utilizados en diferentes estudios desde 2015-2020

Estudios	Microplásticos	Tiempo de acondicionamiento
Martin <i>et al.</i> (2019)	Microplástico Biopelícula	1 semana
Allen <i>et al.</i> (2017)	Microplástico desgastado Limpio	----
Allen <i>et al.</i> (2017)	Microplástico desgastado Biopelícula	1 semana
Rotjan <i>et al.</i> (2019)	Microplásticos Biopelícula	4-8horas
Rotjan <i>et al.</i> (2019)	Microplástico E. Coli	48hora
Rocha <i>et al.</i> (2020)	Microplásticos Biopelícula	2semanas
Rocha <i>et al.</i> (2020)	Microplásticos Biopelícula	2semanas
Rocha <i>et al.</i> (2020)	Microplásticos Biopelícula	2semanas
Rocha <i>et al.</i> (2020)	Microplásticos Biopelícula	2semanas
Hall <i>et al.</i> (2015)	Microplástico limpio	---
Syakit <i>et al.</i> (2019)	Microplástico limpio	----
Servineli <i>et al.</i> (2020)	Microplástico Biopelícula	3días
Reichert <i>et al.</i> (2017)	Microplástico limpio	---

Elaborado por: Caguana, 2020.

La respuesta de ingesta de los microplásticos en los corales puede verse influenciada por la presencia de microorganismos formando esta biopelícula de la que ya se ha venido comentando, donde pueden enviar ciertas señales químicas, que puede ser receptadas por los corales mediante la quimiorrepción, es decir la capacidad de detectar ciertas señales químicas en al ambiente.

Para alimentación, supervivencia y condiciones del hábitat Lawn, (1975) señala que se requiere una combinación de varios estímulos mecánicos y químicos para provocar una respuesta de alimentación en los cnidarios, donde los quimiorreceptores involucrados en la respuesta previa a la alimentación se encuentran en todo el ectodermo de la columna y los quimiorreceptores netamente de la alimentación se encuentra en los tentáculos y disco oral. Machon *et al.* (2018) comentan que la quimiorrepción desempeñó un papel fundamental en *Mirocaris fortunata* y *Palaemon elegans* para detectar alimentos mediante los apéndices de las antenas. En la figura 8.A. se observa los diferentes tratamientos de microplásticos con biopelícula o microplásticos limpios, realizados en diferentes estudios, donde los tratamientos (MB), presentaron los menores porcentajes de ingesta en los corales entre 1,1-11%, a diferencia de la ingesta de microplástico limpio, donde la ingesta menor fue de 21%. Sin embargo, los MB, presentaron tres tratamientos con alto porcentaje de ingesta entre 60-80%, donde

Vroom *et al.* (2017) informaron que las hembras de *Acartia longiremis* y machos de *Calanus finarchicus* en condiciones laboratorio prefirieron consumir microplásticos envejecidos donde puede haberse formado una biopelícula y puede contener presas similares a su alimentación, secretando señales químicas y, ser detectados por la quimiorrepción, por lo que puede ser atractivo las partículas como alimentos.

Cole *et al.* (2019) señalan que la ingesta de los ML tuvo una máxima de 79%, siendo los copépodos y otros zooplánctones los que presentan una amplia capacidad de ingerir perlas de poliestireno, sin biopelículas, específicamente *Calanus finmarchicus* (lo hizo en menos de dos horas), lo que sugiere que la ingestión no es el resultado de una colonización temprana; asimismo que el remojo de microplásticos en agua mar podría cambiar las propiedades de la superficie, además lixivia y elimina los fagoestimulante provocando que los microplásticos sea menos atractivos para la quimiorrepción (Allen *et al.*, 2017). Cabe señalar que el tratamiento de microplástico con *Escherichia coli* (BMEC) tuvo una ingesta del 100%, donde los corales se alimentaron 10 cepas con microplástico, dando a conocer las formas en cómo llega los microplásticos a los corales, asimismo los mecanismos específicos por los cuales amenaza a los corales, siendo un vector de transporte de microbios.

La ingesta total de los microplásticos limpios fue mayor a la ingesta de los microplásticos con biopelícula con 55% y 46% respectivamente, es decir que las especies de coral en su mayoría prefiere microplásticos sin biopelícula que microplásticos con biopelícula teniendo una diferencia de 9%. Siendo así que el consumo de los microplásticos puede deberse a ciertos compuestos fagoestimulantes desconocidos, debido a que la mayoría de los organismos superiores como peces, mamíferos y aves consumen microplásticos mediante la visión y el tacto, mientras que los corales presentan receptores químicos para la detección alimento, provocando el consumo por ciertos compuestos químicas que

tiene los microplásticos. (Allen *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2016). (Figura 8.), independientemente de la concentración utilizada.

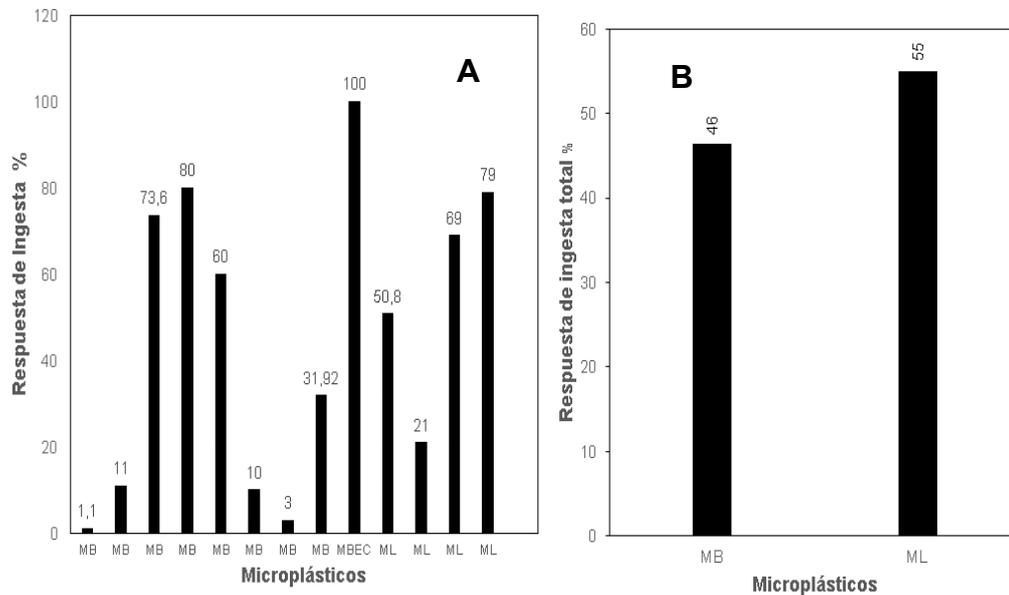


Figura 8: Porcentual de las respuestas de ingesta frente a condiciones de microplásticos en los corales de diferentes estudios. **A)** Porcentual por experimentos; MB: microplásticos con biopelícula; ML: microplásticos limpios. **B)** Porcentual total por las diferentes condiciones de microplástico.

Fuente: Hall *et al.* (2015); Allen *et al.* (2017); Savinelli *et al.* (2020); Rocha *et al.* (2020); Reichert *et al.* (2018); Syakti *et al.* (2019); Rotjan *et al.* (2019); Martin *et al.* (2019).

Elaborado por: Caguana, 2020.

3.3. Impacto de los microplásticos sobre las comunidades coralinas

Los microplásticos se caracterizan por ser uno de los “peligros” que acecha a la fauna marina, por el riesgo de la ingestión directa o indirecta, bioacumulación, biomagnificación en la red alimentaria, transporte microbiano, vectores de contaminantes como metales pesados y orgánicos, provocando impactos a la salud de los organismos marinos, desde niveles tróficos inferiores hasta los superiores. Estos impactos son investigados en condiciones controladas en los laboratorios utilizando una variedad de criterios. Para este objetivo se identificó un total de 15 estudios para determinar los impactos de los microplásticos en los corales en condiciones de laboratorios. En tabla (7) se observa los respectivos ensayos y la especie de coral utilizada y el tiempo de cada experimento, teniendo una variedad de respuesta de los corales y el impacto que ocasionó en la especie en porcentaje.

Tabla 7: Respuestas de corales mencionados en diferentes estudios frente a los microplásticos e impacto que tuvo (%).

Estudios	Especies	Tiempo	Respuestas de los corales	% Impacto
Hall <i>et al.</i> (2015)	<i>Dipsastrea pallida</i>	48h	Mucus (M)	--
Allen <i>et al.</i> (2017)	<i>Astrangia poculata</i>	24h	Retención (RT)	--
Servineli <i>et al.</i> (2020)	<i>Astroides calycularis</i>	90mn	Inhibe la alimentación (IA)	21,24
Rocha <i>et al.</i> (2020)	<i>Zoanthus sociatus</i>	96h	Eficiencias endosimbiontes (ES)	+6
			Estrés oxidativo (EO)	8,70
			Consumo de energía (CE)	+16
Reichert <i>et al.</i> (2017)	<i>Acropora millepora</i>	4s	Crecimiento del microplástico Adherido (CMA)	25
	<i>Acropora humilis</i>		Crecimiento del microplástico Adherido (CMA)	50
	<i>Porites cylindrica</i>		Crecimiento del microplástico Adherido (CMA)	75
	<i>Porites lutea</i>		Crecimiento del microplástico Adherido (CMA)	50
			Mucus (M)	50
	<i>Pocillopora verrucosa</i>		Reducción de energía	---
Reichert <i>et al.</i> (2019)	<i>Acropora muricata</i>	6ms	Calcificación (C)	-33
			Eficiencias endosimbiontes (ES)	+4
			Blanqueamiento y necrosis (BN)	12
	<i>Pocillopora verrucosa</i>		Eficiencias endosimbiontes (ES)	+4
			Blanqueamiento y necrosis (BN)	16
			Calcificación (C)	-3
	<i>Heliopora coerulea</i>			
Chapron <i>et al.</i> (2018)	<i>Lophelia pertusa</i>	47d	Inhibe la alimentación (IA)	29
			Actividad de los pólipos (AP)	6,74
			Calcificación (C)	-35
Syakti <i>et al.</i> (2019)	<i>Acropora Formosa</i>	14d	Blanqueamiento (B)	56
			Necrosis tisular (N)	4,59
Okubo <i>et al.</i> (2018)	<i>Aoptasia sp</i>	72h	Altera la relación simbiótica (AS)	36
	<i>Favites chinensis</i>		Altera la relación simbiótica (AS)	24
Tang <i>et al.</i> (2020)	<i>Pocillopora damicornis</i>	24h	Aumento de clorofila (AC)	+65 -9 (pg cell-1).
Martin <i>et al.</i> (2019)	<i>Acropora emprichi</i>	12h	Inhibe la alimentación (IA)	3
	<i>Goniastrea retiformis</i>		Inhibe la alimentación (IA)	6
	<i>Pocillopora verrucosa</i>		Inhibe la alimentación (IA)	1,8
Mouchi <i>et al.</i> (2019)	<i>Lophelia pertusa</i>	3ms	Inhibe la alimentación (IA)	39
			Calcificación (C)	-67
	<i>Modrepora aculata</i>		Calcificación (C)	-26
			Inhibe la alimentación (IA)	33,5
Hankins <i>et al.</i> (2018)	<i>Montrstrea cavernosa</i>	48h	Calcificación (C)	-7,55
	<i>Orbicella faveolata</i>		Calcificación (C)	-7,39
			Retención (RT)	20
Rotjan <i>et al.</i> (2019)	<i>Astrangia poculata</i>	48h	Inhibe la alimentación (IA)	86,7
	<i>Astrangia poculata</i>	1 h	Inhibe la alimentación (IA)	98
	<i>Astrangia poculata</i>	48h	Mortalidad (M)	100
Lanctot <i>et al.</i> (2020)	<i>Stylophora pistilla</i>	4s	Eficiencias endosimbiontes (ES)	+3,4%

Elaborado por: Caguana, 2020.

Se observó que la respuesta de los corales en la mayoría de los experimentos que ocasionó los microplásticos fue la inhibición del consumo del alimento natural y la calcificación, en un total de 7 y 5 estudios (figura 9) cabe mencionar que se seleccionó por estudios y no por especie afectada (Tabla 7). Sin embargo, el impacto que tuvo la reducción de alimento natural fue de 3-98% donde la especie más afectada fue *Astrangia poculata*, exhibiendo una ingestión preferencial por los microplásticos (tabla 7).

La ingesta de alimento natural disminuye frente a los microplásticos, como en el caso de *Astroides calycularis*, el mismo que tuvo una ingesta de alimento natural de 75,72% a 58,48% frente a los microplásticos afectado en un 21,24%, concluyendo que la presencia de los microplásticos provoca menor tasa de ingestión del alimento natural, asimismo para *Acropora emprichi*, *Acropora emprichi* y *Pocillopora verrucosa*, su impacto fue menor con 3,6, y 1,8%; sin embargo se puede observar que influye los microplásticos al consumo de alimento natural. Cole *et al.* (2015) observaron que la tasa de ingesta de las microalgas frente a los microplásticos por *Calanus helgolandicus* fue menor con 45,700 células a diferencia de sin presencia de microplásticos con 51,500 células de microalgas. Asimismo Ayukai (1987) encontró, que la presencia de microplástico reduce la tasa de ingestión de *Dunaliella tertiolecta* y *thalassiosira decipiens* por *Acartia clausi*.

La calcificación de los corales fue una de las respuestas más mencionadas en los experimentos (Tabla 7) (Figura, 9.B.) donde tuvo un impacto de 3 a 67% de acuerdo con los ensayos de control, durante 3-6 meses y 48 horas de exposición a los microplásticos, afectando el crecimiento esquelético de los corales. No obstante, Lanctôt *et al.* (2020) reportaron que los microplásticos no afectaron la tasa de crecimiento en *Stylophora pistillata* durante 4 semanas. Sugieren que la calcificación se debe a que las especies no pudieron compensar el aumento de las necesidades energéticas durante un periodo largo de exposición de microplásticos. Los corales al estar frente a los microplásticos pueden producir más mucus de lo normal, este hecho fue mencionado en la mayoría de los experimentos, pero no fue reportado estadísticamente (1 estudio).

El mucus es una de las causas que representa un gasto de energía adicional como en *Porites lutea* que produjo un 50% de mucus. Los corales por lo general producen mucus frente a partículas extrañas donde termina en los sedimentos. Wild *et al.* (2010) señalan que el mucus liberado en condiciones de estrés representa un 50% del carbono asimilado por la fotosíntesis, pero que también ayuda a capturar presas como se observa en el experimento de Hall *et al.* (2015). Asimismo, la reducción de energía podría deberse a la tasa de alimento o plasticidad heterotrófica como *Lophelia pertusa* disminuyó en un 29%, influyendo en la adquisición de energía donde afectó en menos de 35% de la calcificación comparada con el control. Asimismo, la actividad de los pólipos, contracción de los tejidos y movimiento ciliar para la ingestión, implica altamente consumo de energía. *L. pertusa* que tuvo un aumento de energía de 6,74% en la actividad de los pólipos. De acuerdo Medellín *et al.* (2016), uno de los principales procesos que afecta el crecimiento de los corales es la cantidad de energía disponible para la producción del material calcáreo (calcificación), y agregan que la tasa de calcificación de varios autores se encuentra entre 0,49 a 1,20 g CaCO₃/año. Sin embargo, esta puede verse afectada si las condiciones de medio no son adecuadas para el crecimiento de los corales.

Por otro lado la retención de los microplásticos y bloqueos intestinales puede afectar la salud de los corales como limitar la capacidad de ingerir y digerir alimentos (Cole *et al.*, 2013). *Aoptasia* sp retuvo 21 días microesferas de 3µm y microesferas de 11µm y 9µm fue de 6 y 9 días respectivamente, de la misma manera se mencionaba que corales retienen microplástico al menos 24horas. Otros de las respuestas de los corales fue la eficiencia endosimbiótica mencionada por 3 estudios donde se encontró un aumento de 6, 4 y 3,4 % en *Zoanthus sociatus*, *Acropora muricata* y *Stylophora pistilla*, esto influye al aumento de la actividad fotosintética, cabe recalcar que esta alza fue transitoria. Podría decirse que los microplásticos que se adhieren a la superficie de los corales bloque la entrada de luz, siendo así que los corales aumento su eficiencia endosimbiótica como en los corales profundos (*Leptoseris*) donde la luz es mínima (Kahng *et al.*, 2020). Sin embargo Lanctôt *et al.* (2020) señalan que, a pesar del aumento de la eficiencia simbiótica, la velocidad máxima de transporte de electrones (ETR_{max}) disminuyó, indicando que podría ser foto daño o

fotoinhibición del fotosistema causando foto estrés fisiológico. Además, se puede ver afectada la relación simbiótica entre las microalgas y corales como *Aoptasia sp* y *Favites chinensis* con 36-24% de impacto, donde los microplásticos perturban a las zooxantelas.

Se conoce que microalgas se desprenden de los corales debido al estrés como ya se menciona con anterioridad, por lo que se puede asumir que la presencia de los microplásticos en el ecosistema constituye un factor de estrés para los corales como lo que se observó en el experimento de Syakti *et al.* (2019) quienes registraron como las zooxantelas aumentaba en la columna de agua con 280 células en las 6 primeras horas, provocando blanqueamiento como fue reportado en las especies *Acropora muricata*, *Pocillopora verrucosa*, *Acropora formosa* con 12, 16 y 56%; cabe mencionar que sobre *A. muricata* y *P. verrucosa* el impacto fue medido entre blanqueamiento y necrosis tisular, mientras que *A. Formosa* fue netamente blanqueamiento, asimismo presentó necrosis pero en menor porcentaje con 4,59%, dando a conocer que los microplásticos afecta no solo la relación simbiótica sino a la salud de los corales provocando muerte celular del tejido (necrosis tisular). También se podría indicar que los corales son susceptibles a patógenos o parásitos, que dan origen a infecciones microbianas y a enfermedades resultantes y que estas pueden ser transportadas por los microplásticos, al igual que sustancias tóxicas.

Garzón (2002) menciona que la enfermedad de la banda negra es provocada por *Lyngbya*, *Hydrocoleum* (cianobacterias) en concentraciones altas de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, temperaturas altas, o la combinación de ambos factores, que afecta el tejido de los corales, formando una banda oscura. Asimismo, la enfermedad de los lunares oscuras provocada por bacterias como *Vibrio carchariae*, afectando en el tejido y esqueleto de los corales (Vinueza, 2011). También Lamb *et al.* (2018) documento que entre las especies que pueden ser transportadas en el plástico es el ciliado *Halofolliculina sp*, esta es la responsable de la enfermedad de la erosión esquelética de los corales. Esto fue fundamentado por Rotjan *et al.* (2019), en uno de los ensayos donde incubaron *Escherichia coli* en los microplásticos y se alimentó *Astrangia poculata*, donde la ingestión duro 15 a 60s de la entrega, consumiendo todas las cepas disponibles

(10), sin embargo, provocó la muerte de todos los corales expuesta a *E. coli.*, incluso la muerte a los corales vecinos que fueron expuesta a microplásticos sin biopelículas, con lo que se expuso los mecanismos específicos de los microplásticos por los cuales amenaza a los corales.

Todas estas respuestas de los corales fueron englobadas en el impacto que ocasionó en el desarrollo, alimentación y comportamiento de los corales, la mayoría de los estudios informó que tuvo mayor impacto en el comportamiento con 13 estudios, a diferencia del desarrollo y alimentación con 7 y 5 (Figura 9.B.). Cabe detallar que las respuestas de los corales en los laboratorios podrían ser diferentes, a los ambientes naturales. Una de las causas es que algunos de los estudios analizados utilizaron concentraciones altas de microplásticos, siendo diferente a las concentraciones del ambiente natural, (los organismos generalmente no están expuestos a las concentraciones utilizadas en los estudios). Los informes de microplásticos en aguas costeras que rodean los arrecifes de coral bajos es $<1 \text{ MP} / \text{m}^3$ y en arrecifes contaminado de $45.200 \text{ MP} / \text{m}^3$ (Ding *et al.*, 2019; Lanctôt *et al.*, 2020; Saliu *et al.*, 2019). Sin embargo, debido a la constante producción, usos y la fragmentación de los plásticos grandes se producirá como consecuencia un aumento considerable de los microplásticos en el medio ambiente. En base a lo anterior se recomienda para futuras investigaciones, analizar el impacto de los microplásticos tanto en desarrollo, alimentación y comportamiento, en condiciones ambientales realistas, así mismo las ingesta, retención y aditivos químicos de los microplástico. Dado que la presencia de los microplástico en los arrecifes de coral es una realidad.

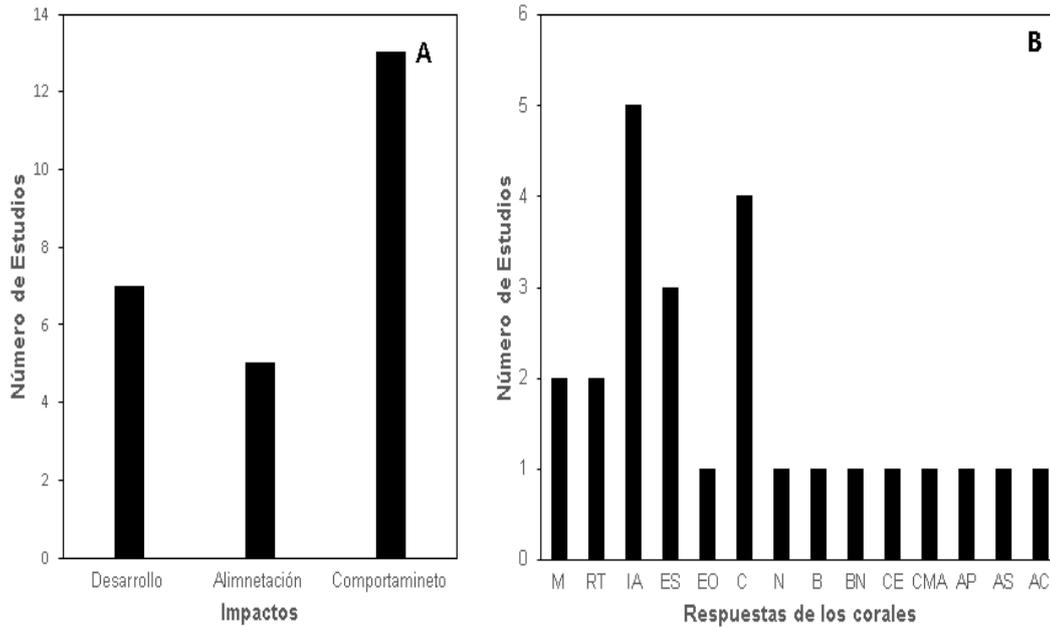


Figura 9: Porcentaje de los impactos de los microplásticos sobre los corales reportado por diferentes estudios. **A)** Impacto en el desarrollo, alimentación y comportamiento de acuerdo con el número de estudios. **B)** Respuestas de los corales frente a los microplásticos por el número de estudios; M: mucus; RT: Retención; ES: eficiencia endosimbiótica; C: calcificación; N: necrosis tisular; B: blanqueamiento; CE: consumo de energía; BN: Blanqueamiento y necrosis tisular; CMA: crecimiento de los microplásticos adheridos; AP: actividad de los pólipos; AS: alteraciones simbióticas; AC: aumento de clorofila.

Fuente: Hall *et al.* (2015); Allen *et al.* (2017); Savinelli *et al.* (2020); Rocha *et al.* (2020); Reichert *et al.* (2018); Reichert *et al.* (2019); Chapron *et al.* (2018); Syakti *et al.* (2019); Okubo *et al.* (2019); Mouchi *et al.* (2019); Tan *et al.* (2020); Rotjan *et al.* (2019); Hankins *et al.* (2018); Lanctot *et al.* (2020); Martin *et al.* (2019).

Elaborado por: Caguana, 2020.

CONCLUSIONES

- El polietileno es uno de los tipos de microplásticos más utilizados en los experimentos, dado que son los plásticos más manipulados en una amplia gama de variedades como envasados, embalaje y transporte de alimentos, además es reportado con mayor frecuencia en el medio marino como en aguas costeras y los sedimentos.
- El nivel de ingesta de los microplásticos es determinado por el tamaño, presencia de alimento natural y por la quimiorrecepción donde la mayoría de los corales prefieren microplásticos pequeños o de acuerdo al tamaño de sus presas, de la misma manera la presencia de alimento natural influye en la ingesta de los microplásticos, además la ingesta mediante la quimiorrecepción puede haberse influenciado por ciertos fagoestimulantes que provocan el consumo de los microplásticos que la presencia de biopelículas.
- Los corales son afectados por la presencia de los microplásticos, sobre el comportamiento alimenticio, donde la ingesta de alimento natural disminuye frente a los microplásticos, asimismo la ingesta de microplásticos aumento frente al alimento natural, siendo una de las formas en que los microplásticos llegan a los corales.
- Esta revisión demuestra que los corales responden de diferentes maneras frente a los microplásticos, siendo la producción de mucus uno de los mecanismos de limpieza, sin embargo, esta actividad puede tener un costo de energía, que afecta el desarrollo de los corales como la calcificación.
- Los corales son susceptibles a la presencia de los microplásticos que provocan blanqueamiento y enfermedades como la necrosis tisular.
- La actividad simbiótica entre las zooxantelas y corales puede ser afectada por los microplásticos y como consecuencia afectar su comportamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, A. S., Seymour, A. C., & Rittschof, D. (2017). Chemoreception drives plastic consumption in a hard coral. *Marine Pollution Bulletin*, 124(1), 198–205. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.030>
- Alva-basurto, J. C. (2015). Arrecifes de coral, servicios ecosistémicos y cambio climático. R1–18. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18600.26887>
- 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>
- Andrady, A. L. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>
- Axworthy, J. B., & Padilla-Gamiño, J. L. (2019). Microplastics ingestion and heterotrophy in thermally stressed corals. *Scientific Reports*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54698-7>
- Ayukai, T. (1987). Discriminate feeding of the calanoid copepod *Acartia clausi* in mixtures of phytoplankton and inert particles. *Marine Biology*, 94(4), 579–587. <https://doi.org/10.1007/BF00431404>
- Beltrán & A. Marcilla. (2011). Tema 2. Tipos De Plasticos, Reciclado, Aditivación Y Mezclado. Tecnología de los Polímeros. Universidad de Alicante. Repositorio Institucional. Revisado 27 de agosto 2020. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/16893>.
- Besseling, E., Wang, B., Lürling, M., & Koelmans, A. A. (2014). Nanoplastic affects growth of *S. obliquus* and reproduction of *D. magna*. *Environmental Science and Technology*, 48(20), 12336–12343. <https://doi.org/10.1021/es503001d>.
- Campoy, P., & Beiras, R. (2019). Revisión: Efectos ecológicos de macro-, meso- y microplásticos. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(11), 581.
- Chapron, L., Peru, E., Engler, A., Ghiglione, J. F., Meistertzheim, A. L., Pruski, A. M., ... Lartaud, F. (2018). Macro- and microplastics affect cold-water corals growth, feeding and behaviour. *Scientific Reports*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33683-6>
- Cole, M., Coppock, R., Lindeque, P. K., Altin, D., Reed, S., Pond, D. W., ... Booth, A. M. (2019). Effects of Nylon Microplastic on Feeding, Lipid Accumulation, and Moulting in a Coldwater Copepod. *Environmental Science and Technology*, 53(12), 7075–7082. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01853>
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2015). The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental Science and Technology*, 49(2), 1130–1137. <https://doi.org/10.1021/es504525u>
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science and Technology*, 47(12), 6646–6655.

<https://doi.org/10.1021/es400663f>

- 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>
- Comerma, E. (2014). La contaminación marina por hidrocarburos. Extraído el 25 de septiembre de 2020. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93716/TECP2de4.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Derraik, J. G. B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), 842–852. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)
- Ding, J., Jiang, F., Li, J., Wang, Z., Sun, C., Wang, Z., ... He, C. (2019). Microplastics in the coral reef systems from Xisha Islands of South China Sea [Research-article]. *Environmental Science and Technology*, 53(14), 8036–8046. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01452>
- EPA. (2018). Información básica sobre los arrecifes de coral. Retrieved October 14, 2020, from <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-los-arrecifes-de-coral>.
- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borroero, J. C., ... Reisser, J. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE*, 9(12), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Esther Arroyo. (2010, April 11). La Gran Barrera de Coral se convierte en una 'autopista ilegal' de mercancías peligrosas. Retrieved October 13, 2020, from https://www.elconfidencial.com/sociedad/2010-04-11/la-gran-barrera-de-coral-se-convierte-en-una-autopista-ilegal-de-mercancias-peligrosas_397983/
- García, T. O. (2017). *Abundancia de microplásticos en la Bahía de la Paz y niveles de ftalatos en el Rorcual Común (Balaenoptera physalus)*. (Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur). Repositorio Institucional. Obtenido de <http://rep.uabcs.mx:80/handle/23080/275>.
- Garzón-Ferreira, J., Rodríguez-Ramírez, A., Bejarano-Chavarro, S., Navas-Camacho, R., & Reyes-Nivia, C. (2002). *Estado de los arrecifes coralinos. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia-año, 84-113*.
- Germanov, E. S., Marshall, A. D., Bejder, L., Fossi, M. C., & Loneragan, N. R. (2018). Microplastics: No Small Problem for Filter-Feeding Megafauna. *Trends in Ecology and Evolution*, 33(4), 227–232. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.01.005>
- 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>
- Haan, W. P., Sanchez-Vidal, A., & Canals, M. (2019). Floating microplastics and aggregate formation in the Western Mediterranean Sea. *Marine Pollution*

Bulletin, 140(January), 523–535.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.053>

- Hall, N. M., Berry, K. L. E., Rintoul, L., & Hoogenboom, M. O. (2015). Microplastic ingestion by scleractinian corals. *Marine Biology*, 162(3), 725–732. <https://doi.org/10.1007/s00227-015-2619-7>
- Hankins, C., Duffy, A., & Drisco, K. (2018). Scleractinian coral microplastic ingestion: Potential calcification effects, size limits, and retention. *Marine Pollution Bulletin*, 135, 587–593. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.067>
- Hatke, T., & Vallester, E. (2020). *Estudio de composición y generación de los desechos sólidos . caso de estudio en 20 vertederos de la República de Panamá*. Retrieved September 25, 2020. from https://www.researchgate.net/profile/Erick_Vallester/publication/338823233_Estudio_de_composicion_y_generacion_de_los_desechos_solidos_caso_de_estudio_en_20_vertederos_de_la_Republica_de_Panama/links/5e2c45e24585150ee78266fb/Estudio-de-composicion-y-generacion-de-los-desechossolidos-caso-de-estudio-en-20-vertederos-de-la-Republica-de-Panama.pdf.
- Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115–2126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>
- Jambeck, J. R., Ji, Q., Zhang, Y.-G., Liu, D., Grossnickle, D. M., & Luo, Z.-X. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 764–768. <https://doi.org/10.1126/science.1260879>
- Kahng, S. E., Watanabe, T. K., Hu, H. M., Watanabe, T., & Shen, C. C. (2020). Moderate zooxanthellate coral growth rates in the lower photic zone. *Coral Reefs*, 39(5), 1273–1284. <https://doi.org/10.1007/s00338-020-01960-4>
- Lancôt, C. M., Bednarz, V. N., Melvin, S., Jacob, H., Oberhaensli, F., Swarzenski, P. W., ... Metian, M. (2020). Physiological stress response of the scleractinian coral *Stylophora pistillata* exposed to polyethylene microplastics. *Environmental Pollution*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114559>
- Lawn, I. D. (1975). An electrophysiological analysis of chemoreception in the sea anemone *Tealia felina*. *Journal of Experimental Biology*, 63(2), 525–536.
- Lazcano Pérez, J. F., Salazar Campos, Z., & González-Márquez, H. (2020). Anémonas, corales y medusas: los cnidarios y su importancia médica. *Revista Digital Universitaria (RDU)*. Vol.21, núm. 2 marzo-abril. 21(2). <https://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2020.v21n2.a4>
- Li, H. X., Getzinger, G. J., Ferguson, P. L., Orihuela, B., Zhu, M., & Rittschof, D. (2016). Effects of Toxic Leachate from Commercial Plastics on Larval Survival and Settlement of the Barnacle *Amphibalanus amphitrite*. *Environmental Science and Technology*, 50(2), 924–931. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02781>
- Lobelle, D., & Cunliffe, M. (2011). Early microbial biofilm formation on marine plastic debris. *Marine Pollution Bulletin*, 62(1), 197–200. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.10.013>

- López-Monroy, F., & Fermín, I. (2019). Microplásticos En El Ambiente Marino. *Saber*, 31(December), 66–81.
- Machon, J., Lucas, P., Ravaux, J., & Zbinden, M. (2018). Comparison of chemoreceptive abilities of the hydrothermal shrimp *Mirocaris fortunata* and the coastal shrimp *Palaemon elegans*. *Chemical Senses*, 43(7), 489–501. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjy041>
- Martin, C., Corona, E., Mahadik, G. A., & Duarte, C. M. (2019). Adhesion to coral surface as a potential sink for marine microplastics. *Environmental Pollution*, 255, 113281. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113281>
- Martínez, N. C. (2019). “ Fuentes de microplásticos marinos en el entorno de Gandía .”(Tesis de Licenciatura, Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Politécnica Superior de Gandía). Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/130761>
- Medellín-Maldonado, F., Cabral-Tena, R. A., López-Pérez, A., Calderón-Aguilera, L. E., Norzagaray-López, C. O., Chapa-Balcorta, C., & Zepeta-Vilchis, R. C. (2016). Calcification of the main reef-building coral species on the Pacific coast of southern Mexico. *Ciencias Marinas*, 42(3), 209–225. <https://doi.org/10.7773/cm.v42i3.2650>
- Julia Smit, M. M. (2020). *Estudio de la ingesta de microplásticos en doradas expuestas a una dieta enriquecida con plásticos* (Tesis de Licenciatura, Universidad de les Illes Balears, Facultad de Ciencias) Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11201/150964>
- Mendoza Zambrano, M., J. & Mendoza Giler, k., T. (2020). *Presencia de Microplástico en Peces Pelágicos de Mayor Comercialización, en el Mercado de “Playita Mía” de la Ciudad de Manta*. (Tesis de Licenciatura, Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Mnabí Manuel Félix López). Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.esпам.edu.ec/handle/42000/1327>
- Molina Luna, M. M. (2013). Análisis del estado de salud de los arrecifes coralinos del Pacífico mexicano. (tesis de Maestría en Centro de Investigación Científica y Educación Superior Ensenada) Repositorio CICESE. Obtenido de <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/615>
- Moore, C. J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*, 108(2), 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>
- Mouchi, V., Chapron, L., Peru, E., Pruski, A. M., Meistertzheim, A. L., Vétion, G., ... Lartaud, F. (2019). Long-term aquaria study suggests species-specific responses of two cold-water corals to macro-and microplastics exposure. *Environmental Pollution*, 253, 322–329. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.024>
- Nielsen-Munoz, V., & Quesada-Alpizar, M. A. (2006). Ambientes Marino Costeros de Costa Rica Ambientes Marino Costeros de Costa Rica. *Capítulo V; Arrecifes y Comunidades Coralinas*, 51–67.
- Oberbeckmann, S., Osborn, A. M., & Duhaime, M. B. (2016). Microbes on a bottle:

- Substrate, season and geography influence community composition of microbes colonizing marine plastic debris. *PLoS ONE*, 11(8), 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159289>
- Okubo, N., Takahashi, S., & Nakano, Y. (2018). Microplastics disturb the anthozoan-algae symbiotic relationship. *Marine Pollution Bulletin*, 135(May), 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.016>
- Paz-Pellat, F., J. M. Hernández-Ayón, R. S.-Á. y A. S. V.-R. (2019). *Estado del Ciclo del Carbono: Agenda Azul y Verde. Programa de Mexico del Carbono*. Texoco, Estado de México, México. ISBN: EN TRÁMITE. 716.
- PlasticsEurope-Plastics-The Facts. (2019). An analysis of European plastics production, demand and waste data. *PlasticsEurope*, 1-40.
- PlasticsEurope. (2010). Plastics - the facts 2010: An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2009. *PlasticsEurope*, 1–30.
- Reichert, J., Arnold, A. L., Hoogenboom, M. O., Schubert, P., & Wilke, T. (2019). Impacts of microplastics on growth and health of hermatypic corals are species-specific. *Environmental Pollution*, 254, 113074. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113074>
- Reichert, J., Schellenberg, J., Schubert, P., & Wilke, T. (2018). Responses of reef building corals to microplastic exposure. *Environmental Pollution*, 237, 955–960. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.006>
- Richard C. Thompson, 1* Ylva Olsen, 1 Richard P. Mitchell, 1 Anthony Davis, 1 Steven J. Rowland, 1 Anthony W. G. John, 2 Daniel McGonigle, 3 Andrea E. Russell3. (2004). Organic matter accumulation post-mineral sands mining. *Soil Use and Management*, 29(3), 354–364. <https://doi.org/10.1111/sum.12058>
- Rivera, F., & Martínez, P. C. (2011). Guía fotográfica de Corales y Octocorales: Parque Nacional Machalilla y Reserva de Producción Faunística Marino Costero Puntilla de Santa Elena. *With the Contribution of Odalisca Breedy, NAZCA and Conservación Internacional, Ecuador*, 78.
- Rocha, R. J. M., Rodrigues, A. C. M., Campos, D., Cícero, L. H., Costa, A. P. L., Silva, D. A. M., ... Patrício Silva, A. L. (2020). Do microplastics affect the zoanthid *Zoanthus sociatus*? *Science of the Total Environment*, 713, 136659. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136659>
- Rodolfo Elías. (2015). Mar del plástico: una revisión del plástico en el mar. *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, 105(27), 83–105.
- Rojo Nieto, E., & Montoto, T. (2017). Basuras marinas , plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. (Informe Científico, Oceanografía, Política del medio ambiente) Repositoria Institucional, acceda CRIS. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10553/56275>
- Rotjan, R. D., Sharp, K. H., Gauthier, A. E., Yelton, R., Baron Lopez, E. M., Carilli, J., ... Urban-Rich, J. (2019). Patterns, dynamics and consequences of microplastic ingestion by the temperate coral, *Astrangia poculata*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 286(1905), 1–9. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.0726>

- Saliu, F., Montano, S., Leoni, B., Lasagni, M., & Galli, P. (2019). Microplastics as a threat to coral reef environments: Detection of phthalate esters in neuston and scleractinian corals from the Faafu Atoll, Maldives. *Marine Pollution Bulletin*, 142(January), 234–241. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.043>
- Savinelli, B., Vega Fernández, T., Galasso, N. M., D'Anna, G., Pipitone, C., Prada, F., ... Musco, L. (2020). Microplastics impair the feeding performance of a Mediterranean habitat-forming coral. *Marine Environmental Research*, 155, 104887. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104887>
- Schirinzi, G. F. (2020). Chemical and ecotoxicological assessment of microplastics and emerging risks in the coastal environments Chemical and ecotoxicological assessment of microplastics and emerging risks in the coastal (Tesis Doctora, Universidad de Barcelona), Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2445/165137>.
- Syakti, A. D., Jaya, J. V., Rahman, A., Hidayati, N. V., Raza'i, T. S., Idris, F., ... Chou, L. M. (2019). Bleaching and necrosis of staghorn coral (*Acropora formosa*) in laboratory assays: Immediate impact of LDPE microplastics. *Chemosphere*, 228, 528–535. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.156>
- Tan, F., Yang, H., Xu, X., Fang, Z., Xu, H., Shi, Q., ... Li, H. (2020). Microplastic pollution around remote uninhabited coral reefs of Nansha Islands, South China Sea. *Science of the Total Environment*, 725, 138383. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138383>
- Villareal Villareal, J. C. (2017). Efecto de la contaminación antropogénica sobre la estructura comunitaria de fitoplacton presete en la zona marino-costera de las islas Santa Cruz y San Cristóbal, Galápagos. (Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica Del Litoral. Facultad de Ingeniería Marítima , Ciencias Biológicas , Oceánicas y Recursos Naturales) Repositorio Institucional. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/41473>
- Vizcarra, G. A., Zárate, M. Á. R., Aguilera, L. C., Ortíz, E. C., Magaña, A. C., De Jesús-Navarrete, A., ... & Bonilla, H. R. (2008). La importancia de los arrecifes del coral en México. *Ecofronteras*, 2–5.
- Vinueza Hidalgo, G. S. (2011). Estado de salud de comunidades de coral en Punta Pitt y Bahía Rosa Blanca, Islas Galápagos (Tesis de Licenciatura en Ecología Aplicada), Universidad San Francisco de Quito, Colegio Ecuador), Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/853>.
- Vroom, R. J. E., Koelmans, A. A., Besseling, E., & Halsband, C. (2017). Aging of microplastics promotes their ingestion by marine zooplankton. *Environmental Pollution*, 231, 987–996. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.088>
- Wild, C., Naumann, M., Niggli, W., & Haas, A. (2010). Carbohydrate composition of mucus released by scleractinian warm- and cold-water reef corals. *Aquatic Biology*, 10(1), 41–45. <https://doi.org/10.3354/ab00269>

ANEXOS

Figura 20: Difusión de los efectos de los microplástico sobre las comunidades coralinas mediante una infografía.

Imágenes extraídas de Reichert et al. (2017);
Rotjan et al. (2019)



Fuente: Reichert et al. (2017); Rotjan et al. (2019).
Elaborado por: Caguana, 2020.