

An aerial photograph showing a large, irregularly shaped island composed entirely of plastic waste, including bags, bottles, and other debris, floating in the deep blue ocean. The waste is densely packed, creating a stark contrast with the surrounding water.

LA CONTAMINACIÓN MARINA POR PLÁSTICOS

UN ANÁLISIS INTEGRAL
de Fundación MarViva



LA CONTAMINACIÓN MARINA POR PLÁSTICOS

UN ANÁLISIS INTEGRAL
de Fundación MarViva



Documento
elaborado por

Revisores
internos

Coordinación
editorial

Fotografías

Diseño y
diagramación

Impresión

Citar como

Alberto Quesada Rojas, Luz Helena Rodríguez-Vargas, Laura Paola Fragozo-Velásquez, Katherine Arroyo Arce, Daniela Durán González, Tania Arosemena Bodero y Estefanía Rodríguez .

Manuel Camilo Velandía, Cristina Sánchez Godínez, Juan Manuel Díaz Merlano y Jorge Arturo Jiménez Ramón.

Juan M. Posada, Diana Bonilla Bolaños, Kelly Rojas Correa y Melissa Álvarez Barquero.

Portada: Representación de la contaminación marina por plásticos © Parilov / Shutterstock
Residuos plásticos contaminan por años © DeawSS / Shutterstock
Gran cantidad de desechos plásticos llegan a ríos y mares cada día © BOULENGER Xavier / Shutterstock
Envases de plástico reutilizables © Patpitchaya / Shutterstock
Contaminación por desechos plásticos © DeawSS / Shutterstock
Desechos plásticos se acumulan en la región © Alexandre Laprise / Shutterstock
Fábrica productora de botellas plásticas © Alba_alioth / Shutterstock
Embalaje para botellas plásticas en el proceso de distribución © Nordroden / Shutterstock
Descarga de basura en el vertedero © kaband / Shutterstock
Planta de producción de bebidas © 06photo / Shutterstock
Colinas de basura acumulada evidencian los problemas en el sistema de disposición de desechos en las afueras de la ciudad de Panamá © Mabelin Santos / Shutterstock
Pila de basura plástica en relleno sanitario © Tong_stocker / Shutterstock
Refinería de petróleo, Colombia © Javier Crespo / Shutterstock
En Colombia el sistema de gestión de residuos plásticos no es eficiente © Felipe Mahecha / Shutterstock
Buque de carga transportando contenedores de basura plástica probablemente a un país sin la infraestructura adecuada para una gestión eficiente © Parilov / Shutterstock
La contaminación por plásticos es un problema en la región © Fotos593 / Shutterstock
La contaminación afecta playas, Costa Rica © In2dodo / Shutterstock
Miles de turistas visitan la región cada año. Río Celeste, Costa Rica © Galyna Andrushko / Shutterstock
No existen los plásticos biodegradables, los residuos plásticos contaminan por años © Bignai / Shutterstock
Pila mecánica de acaparamiento manual de residuos mezclados © zlikovec / Shutterstock
Planta de incineración de basura contamina el ambiente © RONEYA / Shutterstock
Campaña sobre “plásticos biodegradables” lanzada por Fundación MarViva. Costa Rica, 2021 © Fundación MarViva
Campaña sobre “plásticos biodegradables” lanzada por Fundación MarViva. Costa Rica, 2021 © Fundación MarViva
Acumulación de botellas plásticas © Somphop Nithi / Shutterstock
Contraportada © simplystocker / Shutterstock

Ingenio, Arte y Comunicación S.A.

Ingenio, Arte y Comunicación S.A.

Quesada Rojas, A., Rodríguez Vargas, L.H., Fragozo Velásquez, L.P., Arroyo Arce, K., Durán González, D., Arosemena Bodero, T., y Rodríguez, E. (2021). La contaminación marina por plásticos: un análisis integral de Fundación MarViva. Fundación MarViva. San José, Costa Rica. 128 pp.

363.739.409.162

F981c

Fundación MarViva

La contaminación marina por plásticos: un análisis integral de fundación MarViva / Fundación MarViva. [San José, Costa Rica] : Fundación MarViva, 2022.

127 páginas, ilustraciones a color, PDF

ISBN 978-9930-9699-7-7

1. CONTAMINACIÓN MARINA. 2. PLÁSTICOS. 3. DESECHOS SÓLIDOS. I. Título

2021. Todos los derechos reservados por Fundación MarViva.

Únicamente se permite la reproducción parcial o total de esta obra, por cualquier medio, con autorización escrita de la Fundación MarViva. Dicho uso debe hacerse para fines educativos e investigativos, citando debidamente la fuente.

La presente publicación ha sido elaborada en el marco del proyecto “**Fortalecimiento de ciudades costeras y gobiernos locales en Costa Rica y Panamá para luchar contra la basura marina mediante el rechazo de plásticos de un solo uso y la mejora de los sistemas de gestión de los residuos**”, financiado por la Oficina de Océanos y Asuntos Internacionales Científicos y edioambientales (OES, por sus siglas en inglés), del Departamento de Estado de los Estados Unidos.



Presentación

Nuestra visión

Fundación MarViva aborda el problema de la contaminación por plásticos con un enfoque integral en el ciclo de vida, promoviendo la disminución de la producción, uso y el consumo de los mismos, a través del fortalecimiento de los marcos regulatorios, con especial énfasis en las iniciativas dirigidas hacia los plásticos de un solo uso, innecesarios y/o no reciclables. Por ello, desde el 2014, hemos abogado por disitintos proyectos de ley en Costa Rica, Panamá y Colombia, de los cuales, ocho ya se han convertido en normativa nacional y cinco se encuentran en proceso de formalización.

Entre las principales consideraciones técnicas que MarViva pondera para sustentar la necesidad de aprobar iniciativas legislativas, se encuentran:

- 1 - La mejor forma de gestionar los desechos de plástico de un solo uso es no generarlos. Por ello, las medidas para desincentivar la producción, uso y consumo de estos materiales son un instrumento clave para reducir la cantidad de desechos generados, que no pueden ser reincorporados a la cadena productiva.
- 2 - Las prohibiciones, junto con otras medidas que promueven abordar la problemática desde un enfoque de ciclo de vida, no se traducen en un decrecimiento económico.
- 3 - Los plásticos de un solo uso contaminan durante todo su ciclo de vida.
- 4 - Los plásticos oxodegradables (OXO), los comercializados como biodegradables, así como los compostables, tienen los mismos impactos ambientales que los plásticos de origen petroquímico, y quizás alguno más aún no conocido. En consecuencia, no son alternativas eficaces para sustituir el plástico tradicional.

Reconociendo los beneficios que los plásticos han generado a la humanidad a lo largo de la historia, el enfoque de Fundación MarViva está direccionado a evaluar, con transparencia y considerando las variables ambientales, sociales y económicas, los alcances y limitaciones de las estrategias fundamentadas en acciones aisladas, no estructurales y/o desarticuladas. Dos ejemplos de ello son aquellas estrategias que solo visualizan la contaminación por plásticos como un problema de gestión de

residuos (p. ej. promoción únicamente del reciclaje) o las que fomentan cambios en la forma de consumo, sin sustento científico (p. ej. el uso de plásticos de origen biológico).

Por ello, abogamos para que los Estados, empresas y organizaciones realicen las inversiones necesarias en investigación e innovación, y que la formulación de políticas públicas se fundamente en la mejor información científica disponible, dejando a un lado de la discusión la política, los prejuicios y las ideas preconcebidas sin sustento técnico. El fin de las decisiones públicas y privadas deberá ser la prevención de la contaminación por plásticos.

Como resultado, se espera un cambio de comportamiento y estructura en las formas de producción, consumo, uso y gestión de los plásticos. Debido a que la solución a la contaminación marina por plásticos desechables difícilmente se encontrará en acciones aisladas, las propuestas de Fundación MarViva en materia de regulaciones se resumen en:

- 1 -** Eliminación de la producción de plásticos no reciclables.
- 2 -** Reducción y prohibición de la producción de plásticos innecesarios, es decir, aquellos que no agregan ningún valor al producto o servicio, que existen en función a su bajo costo pero no en función a ningún fin específico, que en sí mismos no tienen valor (p. ej. artículos para fiestas, follaje artificial, sobre empaque).
- 3 -** Inversión en la investigación y producción de materiales sustitutos de bajo o nulo impacto ambiental, sustentados científicamente.
- 4 -** Diseños innovadores que permitan la reutilización y la reducción del uso de plásticos.
- 5 -** Inversión en los sistemas de gestión de residuos, con especial énfasis en la disposición final y la infraestructura para la separación, transporte y reciclaje justo y efectivo de los desechos.

Fundación MarViva promueve mejores esquemas de gobernanza para la prevención de la contaminación por plásticos a nivel local, nacional, regional y global, y acompaña estos procesos con campañas de comunicación en los tres países donde opera: Costa Rica, Panamá y Colombia. A su vez, trabaja en el fortalecimiento de capacidades, tanto para actores públicos como privados, con el fin de incrementar la sensibilización de los ciudadanos respecto a los impactos negativos de los desechos plásticos en los sistemas marinos y costeros. Asimismo, incentiva la implementación de buenas prácticas entre los establecimientos comerciales, amparadas en acuerdos voluntarios comprometidos con la reducción del plástico desechable. De esta forma, al momento que sale a la luz pública esta contribución, más de 65 establecimientos comerciales y emprendimientos en Costa Rica, Panamá y Colombia se han sumado a la campaña #ChaoPlásticoDesechable.

El objetivo de esta publicación es presentar información científica sobre el plástico, su ciclo de vida y los diversos impactos ambientales que genera, buscando ofrecer una luz sobre aquellas variables más relevantes del problema de la contaminación por plásticos de un solo uso. Para ello, se tuvo como público meta a la sociedad civil en general, con una particular atención en los responsables de formular las políticas públicas en Costa Rica, Panamá y Colombia.

Siglas, abreviaciones y acrónimos

AAUD	Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario
ABS	acrilonitrilo butadieno estireno
a. C.	antes de Cristo
AE	Estándares Australia
ANCON	Asociación Nacional para la Conservación de la Naturaleza
ANUMA	Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ASTM	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
BEAS	barreras ecológicas atrapa sólidos
BFR	Retardantes de llamas bromados
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
B.O.B	Barrera o Basura
BP	bisfenol
BPA	bisfenol A
bpd	barriles por día
CA	acetato de celulosa
CEN	Comité Europeo de Normalización
CIMAR	Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología
CIPRONA	Centro de Investigación de Productos Naturales
CGSM	Ciénaga Grande de Santa Marta
COP	contaminantes orgánicos persistentes
COPSEA	Coordinación de los mares de Asia oriental
CSWS	Concejo de Soluciones para Residuos Sólidos
DIAN	Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales de Colombia
ECHA	Agencia Europea de Sustancias Químicas
EPS	poliestireno expandido
FOB	Valor en dinero de una mercancía en el puerto de salida de su país de origen. Es el valor en que se vende la mercancía en la fábrica más los gastos (p. ej. transporte interno, impuestos de salida, carga, entre otros) para llevarlo al puerto de salida.
GAM	Gran Área Metropolitana
GESAMP	Grupo Mixto de Expertos sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino
GQSP	Programa Global de Calidad y Normas
HDPE	polietileno de alta densidad
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
ISO	Organización Internacional de Normalización
kg	kilogramos
LDPE	polietileno de baja densidad
LLDPE	polietileno de baja densidad linear

m²	metro cuadrado
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MARPOL	Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques
mm	milímetros
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OXO	Plásticos que se descompone por oxidación
PBT	tereftalato de polibutileno
PC	policarbonato
PCB	bifenilos policlorados
PE	polietileno
PET	tereftalato de polietileno
PFAS	Compuestos perfluorados
PFHx	ácido perfluorohexanosulfónico
PGIRS	Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos
PGN	Procuraduría General de la Nación
PHA	polihidroxialcanoatos
PIB	Producto Interno Bruto
PLA	ácido poliláctico
PMMA	polimetacrilato de metilo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PROCOMER	Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica
PP	polipropileno
PS	poliestireno
PTO	Pacífico Tropical Oriental
PET	politrimetileno tereftalato
PUR	poliuretano
PVC	policloruro de vinilo
RCM	renovable, compostable, compostable en ambiente marino
RIC	Código de Identificación de Resinas
SICA	Sistema de la Integración Centroamericana
SIEX	Sistema Estadístico de Comercio Exterior
s.f.	sin fecha
SPI	Sociedad de la Industria del Plástico
SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
SUI	Sistema Único de Información
t	toneladas
TEC	Tecnológico de Costa Rica
UCR	Universidad de Costa Rica
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UNA	Universidad Nacional
UNED	Universidad Nacional Estatal a Distancia
USD	Dólares de los Estados Unidos de Norteamérica
UV	Ultravioleta
µm	micrómetro

Tabla de contenido

Presentación - Nuestra visión	3
Siglas, abreviaciones y acrónimos	5
Índice de figuras	9
Índice de cuadros	10
Resumen ejecutivo	11
1. La Historia del plástico: hitos y afectaciones	13
1.1. Su origen	13
1.2. Impactos	17
1.3. Proceso de producción	20
1.4. Demanda	21
2. Tipos de plásticos	23
2.1. Definición y características de los plásticos	23
2.1.1. Plásticos de origen fósil	23
2.1.1.1. Aditivos	25
2.1.1.2. Clasificación según la reacción al calor	27
2.1.1.3. Clasificación según tipo de resina	28
2.1.2. Plásticos biobasados o de origen biológico	29
2.1.2.1. Biodegradabilidad y compostaje de los plásticos de origen biológico	32
3. El plástico en la región: Costa Rica, Panamá y Colombia	35
3.1. COSTA RICA	36
3.1.1. Producción, importación y exportación de plásticos	36
3.1.2. Consumo	37
3.1.3. Gestión de los residuos plásticos	38
3.1.3.1. Rellenos sanitarios y vertederos	39
3.1.4. Normativas y políticas para la gestión de los desechos plásticos	41
3.2. PANAMÁ	42
3.2.1. Producción, importación y exportación de plásticos	42
3.2.2. Consumo	43
3.2.3. Gestión de los residuos plásticos	43
3.2.3.1. Rellenos sanitarios y vertederos	44
3.2.3.2. Recuperación diferenciada de los desechos plásticos	46
3.2.4. Normativas y políticas regionales para la gestión de los desechos plásticos	48
3.3. COLOMBIA	49
3.3.1. Producción, importación y exportación de plásticos	49
3.3.2. Consumo	50
3.3.3. Gestión de los residuos plásticos	51
3.3.3.1. Rellenos sanitarios y vertederos	52

3.3.3.2. Recuperación diferenciada de los desechos plásticos.....	53
3.3.4. Normativas y políticas regionales para la gestión de los desechos plásticos	56
3.4. Movimientos transfronterizos de los desechos plásticos en Costa Rica, Panamá y Colombia	57
4. Contaminación por plásticos en la región de Costa Rica, Panamá y Colombia	61
4.1. Aproximación de la afectación del plástico en el ambiente en cada una de las etapas del ciclo de vida.....	61
4.2. Contaminación marina por plástico: distribución y zonas de acumulación	64
4.3. Impactos biológicos de los desechos plásticos en el mar	66
4.4. Potenciales efectos de los desechos plásticos en la salud humana	72
4.5. Impacto económico y social de la contaminación marina por plástico	73
5. Discusiones actuales	75
5.1. Regulaciones sobre los plásticos de un solo uso	76
5.1.1. Tratados e instrumentos internacionales	76
5.1.2. Regulaciones nacionales y locales sobre los plásticos de un solo uso.....	80
5.1.3. Iniciativas de la Sociedad Civil	89
5.1.4. Campañas de sensibilización y educación regionales y locales.....	91
5.2. Economía circular: limitaciones del reciclaje del plástico y de sus alternativas	93
5.2.1. Economía circular del plástico	93
5.2.2. Retos del proceso de reciclaje del plástico	95
5.2.3. Estándares internacionales comunmente utilizados en los plásticos de origen biológico	98
Conclusiones y recomendaciones.....	103
Literatura citada	107

Índice de figuras

Figura 1 - Historia del plástico, hitos y afectaciones	13-20
Figura 2 - Ciclo de vida de los plásticos de origen fósil	24-25
Figura 3 - Ciclo de vida de un plástico creado a partir de biomasa	29
Figura 4 - Ciclo de vida de un plástico creado a partir del ácido láctico que se encuentra en fuentes renovables, que al exponerse a ciertos microorganismos, terminan generando el Polihidroxialcanoato (PHA)	30
Figura 5 - Valor de la industria mundial del plástico de origen fósil para el año 2019 y proyección del aumento en la producción de plásticos para el período 2020-2040	35
Figura 6 - Gráfica de la industria manufacturera en Costa Rica	36
Figura 7 - Materiales plásticos consumidos en Costa Rica cada año	38
Figura 8 - Residuos sólidos generados en Costa Rica.	38
Figura 9 - Toneladas de plástico generadas en Costa Rica	39
Figura 10 - Sistema de gestión del plástico en Costa Rica	40
Figura 11 - Materiales plásticos producidos en Panamá cada año.....	42
Figura 12 - Tipos de residuos generados en Panamá	44
Figura 13 - Gestión de los desechos plásticos diariamente en Panamá	44
Figura 14 - Sistema de gestión de los plásticos en Panamá	47
Figura 15 - Producción de resinas en Colombia para el año 2019	49
Figura 16 - Gestión de los residuos en Colombia.	52
Figura 17 - Sistema de gestión de los plásticos en Colombia	55
Figura 18 - Importaciones de desechos plásticos de Costa Rica (CR), Panamá (PAN) y Colombia (COL) en toneladas (t) y su precio en dólares facturados (FOB), en la escala logarítmica decimal (Log_{10}).....	57
Figura 19 - Exportaciones de desechos plásticos hacia Costa Rica (CR), Panamá (PAN) y Colombia (COL) en toneladas (t) y su precio en dólares facturados (FOB), en la escala logarítmica decimal (Log_{10})	58
Figura 20 - Impactos causados por los plásticos en la fauna marina	66
Figura 21 - Número de especies afectadas por enredamientos con plástico	67
Figura 22 - Modelo de red trófica marina, que indica la carga, el tamaño y la forma de los microplásticos presentes en organismos a diferentes niveles tróficos presentes en el entorno natural	69
Figura 23 - Impacto biológico por químicos y aditivos plásticos	70
Figura 24 - Beneficios de crear un acuerdo internacional.....	79
Figura 25 - Implementación de planes de acción regionales de basura marina	80

Figura 26 - Regulaciones nacionales y locales sobre los plásticos de un solo uso en Norteamérica	82
Figura 27 - Regulaciones nacionales y locales sobre los plásticos de un solo uso en Centroamérica y Caribe	83
Figura 28 - Regulaciones nacionales y locales sobre los plásticos de un solo uso en Suramérica ...	84
Figura 29 - Regulaciones nacionales y locales sobre los plásticos de un solo uso en Europa	85
Figura 30 - Regulaciones nacionales y locales sobre los plásticos de un solo uso en Asia	86
Figura 31 - Regulaciones nacionales y locales sobre los plásticos de un solo uso en África.....	87
Figura 32 - Regulaciones nacionales y locales sobre los plásticos de un solo uso en Oceanía	88
Figura 33 - Esquema “ideal” de la economía circular de los plásticos, siempre y cuando se cumpla con ciertas condiciones de reciclabilidad, biodegradabilidad o compostaje	94
Figura 34 - Ejemplo de sellos en los empaques.....	100
Figura 35 - Sellos simples, sin indicaciones específicas sobre las condiciones de compostabilidad o biodegradabilidad.	101

Índice de cuadros

Cuadro 1 - Lista de aditivos químicos presentes en los plásticos, con potenciales efectos nocivos para la salud humana	26-27
Cuadro 2 - Códigos de identificación de Resinas (RIC), tipo de plástico, porcentaje de producción para Europa y usos	28
Cuadro 3 - Cantidad (t) y valor (USD) promedio de desechos exportados desde Costa Rica e importados por el país entre el 2019 y el 2015, según la subpartida arancelaria (tipo)	59
Cuadro 4 - Cantidad (t) y valor (USD) promedio de desechos exportados desde y hacia Panamá entre el 2019 y el 2015, según la subpartida arancelaria (tipo)	59
Cuadro 5 - Cantidad (t) y valor (USD) promedio de desechos exportados desde y hacia Colombia entre el 2019 y el 2015, según la subpartida arancelaria (tipo)	60
Cuadro 6 - Contaminantes plásticos según su tamaño	62
Cuadro 7 - Instrumentos y tratados internacionales para abordar la contaminación por basura marina	76
Cuadro 8 - Algunas iniciativas de organizaciones de la sociedad civil a nivel mundial	89-90
Cuadro 9 - Iniciativas regionales y locales para mitigar la contaminación por plástico	91-92
Cuadro 10 - Ejemplos de algunos estándares internacionales para plásticos renovables y compostables	101



Gran cantidad de desechos plásticos llegan a ríos y mares cada día © Shutterstock

Resumen ■ ejecutivo

El plástico, como polímero generado de forma artificial, puede considerarse reciente en la historia de la humanidad. Sus orígenes se remontan a la época en que se buscaba encontrar un sustituto para cubrir la demanda de marfil, hace 150 años, con un volumen de producción que evolucionaría hasta generar una de las mayores crisis ambientales del planeta. Sin embargo, los polímeros o cadenas largas de moléculas, ya se encontraban en la naturaleza en forma de seda, caucho y otros materiales naturales.

La flexibilidad y alta durabilidad de los plásticos han jugado un papel crítico en el desarrollo humano, permitiendo avances médicos y tecnológicos de gran relevancia. No obstante, las características que los han hecho beneficiosos, también los han convertido en perjudiciales, permitiendo que más de 250 millones de toneladas (t) de desechos plásticos se encuentren ya acumulados, contaminando a lo largo y ancho de todo el océano (The Pew Charitable Trust, 2020). Contrario a lo que se piensa normalmente, el impacto negativo de los plásticos no se produce solamente cuando se desechan; este ya está presente cuando lo utilizamos.

Cuando se producen o mientras se acumulan, los plásticos utilizados en juguetes, empaques de alimentos y productos de uso diario, contaminan el ambiente y liberan sustancias químicas que se transfieren a través de la red alimentaria y liberan sustancias tóxicas (p. ej. ftalatos o bisfenoles), que pueden generar impactos negativos en la salud humana (Flaws et al., 2020).

El presente documento proporciona una visión integral sobre la contaminación marina por plásticos, que aborda todos los aspectos del ciclo de vida de este material en el contexto regional de Costa Rica, Panamá y Colombia. Del análisis de la información existente, se pudo determinar que la prevención de la contaminación por desechos plásticos, tanto en general como de plásticos de un solo uso en particular, enfocada

solamente en la gestión de los desechos y dejando de lado cambios en sistemas productivos y de consumo, es un abordaje costoso e ineficiente.

El reciclaje es concebido por muchos como la forma más efectiva de manejar los desechos plásticos y es ampliamente promocionado como parte de los modelos de economía circular. Aunque el reciclaje justifica el consumo excesivo e innecesario de algunos plásticos, la realidad es que no todos los plásticos pueden ser reciclados, ya que deben de poseer ciertas características que les permita ser reincorporados a la cadena productiva. Muchas de estas características han sido poco estudiadas y, aún así, los Estados están emitiendo normativas para su uso sin la suficiente información técnica que las sustente. De hecho, la calidad de los plásticos que se consumen en la actualidad se pierde cada vez que pasan por un proceso de reciclaje, rompiendo con el principio de perpetuidad en un modelo circular.

Adicionalmente, la cantidad de desechos provenientes de plásticos para reciclar crece a mayor velocidad que la capacidad de los sistemas de gestión y tratamiento de residuos, generando su acumulación en el ambiente.

En un intento de reducir la percepción negativa sobre el plástico, muchas empresas se han volcado a la producción de plásticos biobasados o de origen biológico. Este tipo de plástico es publicitado como una alternativa para sustituir a los plásticos de origen fósil, prometiendo degradarse fácilmente en el ambiente. En realidad, estos productos están siendo diseñados y fabricados con las mismas características de durabilidad que los plásticos de origen fósil y, aunque promocionados como biodegradables o compostables, no se revelan las verdaderas condiciones requeridas para su biodegradación o compostabilidad. En este caso, la solución planteada sigue siendo parte del problema. En Latinoamérica, los consumidores padecen de importantes vacíos de información sobre la biodegradabilidad en condiciones naturales y los aditivos químicos que contienen estos productos, impidiendo dimensionar el impacto que tienen estos productos en el ambiente.

El 36 % de los plásticos que se producen anualmente en el mundo corresponden a aquellos de un solo uso, que son totalmente innecesarios y que, al prescindir de ellos, se contribuiría considerablemente a la reducción de la contaminación (UNEP, 2018b). Sin embargo, estos cambios requieren de bases legislativas que impulsen las acciones para lograr cambios estructurales, generar responsabilidades compartidas y modificaciones en los comportamientos de las personas involucradas a lo largo del ciclo de producción y consumo.

Esta publicación tiene el objetivo de proporcionar al lector un contexto amplio que le permita tener un mejor conocimiento sobre elementos como la producción, uso, consumo y disposición de los plásticos, sustentando los cambios de comportamiento que mitiguen esta problemática de alcance mundial. El documento se encuentra dividido en cinco partes: la primera hace un breve resumen sobre la historia de los plásticos, la evolución de la industria y las estadísticas de la problemática en la actualidad. La segunda parte describe los tipos de plásticos, las materias primas fósiles y no fósiles que se usan actualmente para producirlos, así como su funcionalidad e impacto; seguida del tercer capítulo que proporciona una aproximación sobre las etapas de producción, consumo y disposición de plásticos en Colombia, Costa Rica y Panamá. La cuarta parte ilustra los impactos de la contaminación en la salud de los océanos y de los seres humanos enfatizando en los tres países mencionados y, finalmente, la quinta parte, presenta las discusiones actuales que envuelven el abordaje internacional, regional y nacional del problema.



Envases de plástico reutilizables © Shutterstock

1 La Historia del plástico: hitos y afectaciones

1.1. Su origen

La palabra plástico proviene del griego *plastikos* y describe la capacidad de un material para moldearse o tomar varias formas (PlasticsEurope, 2021). Los plásticos que conocemos en la actualidad están conformados por largas cadenas de moléculas llamadas polímeros, que son una imitación de los polímeros naturales que se encuentran en las fibras naturales como la seda o la lana, caracterizadas por su alta flexibilidad.

En la región, los humanos se han beneficiado de los polímeros naturales desde la Mesoamérica del 1600 antes de Cristo (a. C.) En ese entonces, los habitantes del territorio centroamericano extraían el látex del árbol *Castilla elástica* (caucho) (Figura 1) y lo moldeaban en forma sólida para crear pelotas que utilizaban en un juego en el que se disputaban tierras y valores (Hosler et al., 1999). También, fabricaban figurines humanos, mangos para las hachas y medicinas, demostrando la versatilidad de estos materiales (Hosler et al., 1999). Para esta misma época, si se requería un empaque, se utilizaban calabazas, conchas y hojas que proporcionaba la naturaleza. Más adelante, se comenzaron a elaborar contenedores a partir de



1600

antes de Cristo (a. C.)

Se extrae látex del árbol *Castilla elástica* (caucho) y lo moldean en forma sólida para crear pelotas que utilizaban en un juego en el que se disputaban tierras y valores.



Siglo XIX

Revolución Industrial

La demanda de cuernos de animales y el caucho aumenta.



1859

Coronel Edwin L. Drake

Realiza la primera perforación para extraer petróleo, un producto que sustituyó el aceite de las ballenas.



1862

Alexander Parkes

Inventa una mezcla de celulosa vegetal tratada con ácido nítrico, que promete ser un sustituto y suplir la demanda de materiales de origen animal.



1863

John Wesley

Crea un material duro y brillante para reemplazar el marfil de las bolas de billar. Se le nombró "celulioide".



1907

Leo Bakelyte

Inventa el primer polímero sintético resistente al calor: la resina de fenol-formaldehído, a la que bautiza como baquelita.

troncos huecos, plantas tejidas y órganos de animales. Las telas provenían de las pieles de animales y, a medida que el tejido se perfeccionó, surgieron las canastas para almacenar alimentos (Hook y Heimlich, 2017).

La demanda de materiales naturales como el marfil, el carey, los cuernos de animales y el caucho aumentó durante la revolución industrial en el siglo XIX (Britannica, 2019). Esto puso en riesgo especies como elefantes y tortugas (Britannica, 2019). Para responder a esta problemática, en 1862, el metalúrgico e inventor británico Alexander Parkes, presentó en la Exhibición Internacional de Londres "la Parquesina", una sustancia resultante de una mezcla de celulosa vegetal tratada con ácido nítrico, que prometía ser un sustituto y suplir la demanda de estos materiales de origen animal (Parkes et al., 1865; Britannica, 2019).

La Parquesina fue entonces el punto de partida para el inventor estadounidense John Wesley Hyatt quien, en 1863, aceptó el reto de la firma Phelan & Collender para encontrar un material que reemplazara el marfil de las bolas de billar, con una recompensa de USD 10.000. A pesar de las advertencias sobre una inminente explosión, Hyatt mezcló alcanfor con nitrocelulosa, lo calentó, lo comprimió en un molde y después de enfriarlo obtuvo un material duro y brillante al que su hermano llamó "celuloide". Sin embargo, la alta volatilidad y degradación con la luz solar del celuloide impuso restricciones a su uso, en términos de durabilidad y resistencia (Meikle, 1995; Mulder y Knot, 2001 y Geyer, 2020). Por esta misma época, en 1859, el coronel Edwin L. Drake realizó la primera perforación para extraer petróleo, un producto que sustituyó el aceite de las ballenas que se encontraban al borde de la extinción y que vendría a jugar un importante papel en la producción de plásticos (Schwarcs, 2017).

Otro importante avance se dió en 1872, cuando el alemán, Adolf Von Baeyer describió la reacción fenol formaldehído, base para generar un sustituto a la "goma laca", producida por el gusano *Kerria lacca*. Esta laca se utilizaba en su forma simple para darle un acabado final y proteger artículos de madera y metal, como portaretratos y cofres, entre otros. También, se utilizaba para formar una mezcla con polvo de madera que se podía moldear con calor y presión, para producir contenedores de daguerrotipos, que eran las fotografías de la época (Freinkel, 2011a; Plastic Historical Society, 2015).

En 1907, el químico belga-estadounidense Leo Bakelyte creó una máquina para controlar el escape de gases producidos por la reacción de Von Baeyer y, gracias a este procedimiento, inventó el primer polímero sintético resistente al calor: la resina de fenol-formaldehído, a la que bautizó como baquelita (Bakelite Museum, s.f.; Geyer, 2020). En 1910, Bakelyte fundó

la General Bakelite Company, para producir la baquelita de forma extensiva y comercializarla en todo el mundo como “El material de los mil usos”, reemplazando a la goma laca y siendo utilizada en la producción de perillas, diales, paneles de circuitos, gabinetes para radios y en sistemas eléctricos de los automóviles, manteniendo su dominancia hasta la década de 1930, cuando comenzó a ser combinada con otras resinas fenólicas para producir joyería de bajo costo (American Chemical Society, 1993; Meikle, 1995; Britannica, 2009).

Cuando el francés Henri Victor Regnault descubrió el policloruro de vinilo (PVC) en 1838, no le encontró utilidad alguna. Pero en 1912, el químico alemán Fritz Klatte, inventó un nuevo método para polimerizarlo, utilizando luz solar. Sin embargo, este descubrimiento permaneció sin uso particular hasta que, en 1920, el químico estadounidense Waldo Semon, de la empresa BF Goodrich, logró dar plasticidad y flexibilidad al PVC, la segunda resina de plástico de mayor uso a nivel mundial actualmente, la cual comenzó a producir comercialmente en 1930 (Mulder y Knot, 2001; Mülhaupt, 2004).

También en 1920, otro gran descubrimiento sacudió a la comunidad científica internacional, cuando el químico orgánico alemán Hermann Staudinger demostró que, mediante diferentes reacciones, se lograba la unión de pequeñas moléculas para formar lo que él denominó macromoléculas. Staudinger llamó a esta reacción una “polimerización”, en la que se unen varias unidades repetidas mediante enlaces covalentes (p. ej. átomos que comparten electrones), que requieren una gran cantidad de energía para separarse. Esta nueva técnica fue el fundamento de la durabilidad que los polímeros otorgan a los plásticos y fue la clave para que estos se pudiesen manipular con gran precisión para producir una gran variedad de materiales plásticos, como los conocemos hoy en día (American Chemical Society y Gesellschaft Deutscher Chemiker, 1999; Mulder y Knot, 2001).

En 1927, la empresa DuPont le apostó a financiar investigación pura, contratando como líder del departamento de química a Wallace Hume Carothers. En sus laboratorios experimentales nacieron el neopreno y el primer súper polímero de poliéster, el nylon, también llamado polímero 66 por su composición molecular (Wolfe, 2008; DuPont, 2021). En 1938, DuPont comenzó la construcción de una planta para la producción masiva de nylon y, así, introducir el nuevo material en el mercado estadounidense con un producto pionero: las pantimedias para mujeres. El producto tuvo tal éxito que las medias se agotaban el mismo día en el que llegaban a los almacenes. Sin embargo, la llegada de la guerra interrumpió el acontecimiento, ya que toda la producción de nylon se destinó



1910

Leo Bakelyte

Comercializa la baquelita conocida como “El material de los mil usos”.



1920

Waldo Semon

Logra dar plasticidad y flexibilidad al PVC (descubierto por Henri Victor Regnault en 1838), la segunda resina de plástico de mayor uso a nivel mundial actualmente.

Hermann Staudinger

Demuestra que mediante diferentes reacciones se lograba la unión de pequeñas moléculas para formar otras más grandes. Esta reacción fue denominada por él como polimerización.



1927

Wallace Hume Carothers

En sus laboratorios experimentales nacieron el neopreno y el primer súper polímero de poliéster, el nylon, también llamado polímero 66.



1933

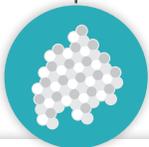
Reginald Gibson y Eric Fawcett

Sintetizan el que actualmente es el plástico de mayor producción a nivel mundial, sin el cual no existiría la industria de los empaques: el polietileno (PE).



1938

El plástico ya se produce a partir de gas y petróleo. Las empresas DuPont, Monsanto, Resinox, Celanese y Dow se expanden a la producción de plásticos.



1941

Ray McIntire

Descubre la espuma de poliestireno, la cual funciona como aislante térmico y de la humedad.



1946

James Watson Hendry

Desarrolla una máquina de inyección que incrementa la velocidad de producción y la calidad de productos para el depósito y empaque de alimentos, que para los años 50 formaban parte de todos los hogares.

para el conflicto bélico (Meikle, 1995; Wolfe, 2008; Freinkel, 2011a).

En 1933, los ingleses Reginald Gibson y Eric Fawcett sintetizaron el que actualmente es el plástico de mayor producción a nivel mundial, sin el cual no existiría la industria de los empaques: el polietileno (PE) (Freinkel, 2011b). Para finales de los años 30, el plástico ya se producía a partir de gas y petróleo. Las empresas DuPont, Monsanto, Resinox, Celanese y Dow se habían expandido a la producción de plásticos. Durante la segunda guerra mundial (1939-1945), el PE jugó un papel decisivo como aislante de los cables en los radares que se instalaron, por primera vez en la historia, en los aviones británicos. Esto les dio una ventaja ya que les permitió detectar los bombarderos enemigos que solían atacar de noche, así como barcos y submarinos que se encontraran en la superficie (Meikle, 1995; Hinsley, 2015).

La llegada de la guerra también popularizó el nylon y el PE como materias primas para producir equipamientos como los cascos y paracaídas, así como el vinilo y el plexiglás, utilizados en las cabinas de los aviones (Glenn, 2020). El teflón, patentado por DuPont en 1941 y utilizado para hacer los contenedores de los gases volátiles de la bomba atómica, fue comercializado en la posguerra como antiadherente en utensilios de cocina (Williams, 2006; Keats, 2018). La guerra le dio un impulso decisivo a la industria de los plásticos, que vinieron a sustituir materiales naturales de alta demanda como el caucho.

Las investigaciones sobre polímeros se realizaron mayoritariamente con fines comerciales y con el objetivo de desarrollar productos de uso común a un precio accesible (Meikle, 1995; García, 2009; Davis, 2015). En 1941, el ingeniero químico Ray McIntire, de la Compañía Química Dow, descubrió la espuma de poliestireno, la cual servía como aislante térmico y de la humedad. A partir de este descubrimiento, en 1954, la Koooper Company desarrolló el poliestireno expandido (EPS), que después fue procesado para convertirse en lo que hoy llamamos estereofón, hielo seco o icopor, dándole otro impulso a la industria de los empaques desechables (Cansler, 2018; Kay, 2020).

En 1946, el norteamericano James Watson Hendry desarrolló una máquina de inyección que incrementó la velocidad de producción y la calidad de productos para el depósito y empaque de alimentos, que para los años 50 formaban parte de todos los hogares estadounidenses. Fue en esta década cuando los termoestables (polímeros de cadena tridimensional, difíciles de reciclar) comenzaron a ser reemplazados por termoplásticos (que se pueden derretir y reusar industrialmente). Los productores compensaron la

escasez de benceno (proveniente del carbón), con petróleo y gas natural, disparando la producción a gran escala (Meikle, 1995; Geyer et al., 2017; Geyer, 2020) y el desarrollo de nuevas tecnologías. En 1965, la química de DuPont, Stephanie Louise Kwolek, desarrolló el primer polímero de cristal líquido, que derivó en una fibra más fuerte que el acero, el kevlar, utilizado para los chalecos antibalas (DuPont, 2021). La extracción del petróleo, pre-cursora de avances tecnológicos industriales es, hoy en día, responsable tanto de la crisis del acelerado cambio climático global, como de la contaminación por plásticos (Kistler y Muffett, 2019).

1.2. Impactos

A medida que la industria crecía, también se comenzaron a notar sus impactos negativos (Figura 1). A finales de la década de los años 50, ya había reportes de tortugas marinas ingiriendo plásticos y, a principios de los años 60, los polímeros se comenzaron a detectar en el sistema digestivo de las aves marinas (CIEL, 2017c). Adicionalmente, los desechos plásticos comenzaron a ser visibles en las calles y el medio ambiente. Esto trajo consigo una percepción negativa frente a los productos y la industria que los producía (Meikel, 1995; Freinkel, 2011b; Clapp, 2012). Como respuesta, se crearon múltiples campañas en las que la polución plástica era explicada como el resultado de un mal comportamiento por parte de los consumidores (Keep America Beautiful, 1968).

La industria del plástico propuso el reciclaje como potencial solución a la creciente cantidad de desechos plásticos en la década de 1970 (Meikel, 1995). En este mismo año, Gary Anderson, profesor de la Universidad del Sur de California, creó el símbolo original del reciclaje en un concurso financiado por la Container Corporation of America (Center for Energy Efficiency, 2020). Posteriormente, en 1972, se creó la primera planta de reciclaje plástico en Conshohocken, Pennsylvania. Para finales de la década de 1980, se lanzó una campaña de USD 50 millones, que tenía como público objetivo a los ciudadanos estadounidenses, comunicando que el plástico puede ser y es reciclado (Frontline, 2020).

Como parte de este esfuerzo, la industria productora de plástico en los Estados Unidos (la más grande para el momento), creó el Consejo de Soluciones para Residuos Sólidos (CSWS, por sus siglas en inglés), con el objetivo de impulsar que las municipalidades invirtieran en programas de recolección de residuos plásticos y etiquetar los productos con el símbolo del reciclaje (Frontline, 2020). No obstante, en





Inicios años 70

Se registra por primera vez la presencia de material plástico en el Atlántico Norte.



1972

Se crea la primera planta de reciclaje plástico en Conshohocken, Pennsylvania. Para finales de la década de 1980, se lanza una campaña comunicando que el plástico puede ser, y ya está siendo, reciclado.



1973

En un reporte escrito por la Sociedad de la Industria del Plástico se muestran dudas sobre la viabilidad económica del reciclaje, sobretudo a gran escala.



1984

Se desarrolla el primer taller sobre los Impactos y el Destino de la Basura Marina en Honolulu (Hawái).

1973, se mencionaba en un reporte escrito por la Sociedad de la Industria del Plástico (SPI, por sus siglas en inglés), que existían dudas sobre la viabilidad económica del reciclaje y que el proceso no parecía viable a gran escala (The Society of Plastics Industry, 1973; Frontline, 2020).

A principios de los años 70 se registró por primera vez la presencia de material plástico en el Atlántico Norte, lo que desencadenó la investigación sobre sus impactos en la vida marina y se inició una nueva era de concienciación y desarrollo de políticas como el Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL), adoptado en 1973. Ese mismo año se presentaron varias investigaciones financiadas por empresas petroquímicas y manufactureras, que evidenciaron los impactos negativos no solo de la presencia de la basura plástica en el mar, sino también de su asociación con químicos altamente tóxicos como los bifenilos policlorados (PCB), demostrando que la industria nunca fue ajena a la amenaza implícita en la larga durabilidad de los plásticos posconsumo, ni a su presencia tanto en la superficie, como en las playas y los sedimentos marinos (Ryan, 2015; CIEL, 2017c).

Ante la ya evidente problemática, en 1984, se desarrolló el primer taller sobre los Impactos y el Destino de la Basura Marina en Honolulu (Hawái), seguido por el Sexto Simposio Internacional sobre Disposición de Residuos en el Océano en Pacific Grove (California), que permitieron dilucidar claramente el impacto de la basura marina, para luego expandirse a los problemas sobre captura incidental de especies marinas y las fuentes de basura marina en tierra, hasta llegar, en 1989, a las discusiones sobre soluciones basadas en tecnología, leyes y políticas, y las primeras estimaciones de los costos de la contaminación por basura marina durante la Segunda Conferencia Internacional sobre Basura Marina, nuevamente en Honolulu (Ryan, 2015).

Aunque en la década de los 90 la investigación sobre el plástico y sus amenazas al ambiente pareció pausarse a medida que la producción continuaba creciendo, los consumidores comenzaron a detectar los impactos ambientales que causaba y mostraron mayor interés por minimizarlos (Ryan, 2015; European Bioplastics, 2019; Geyer, 2020). En 1997, el mariner Charles Moore, descubrió una gran agregación de desechos plásticos flotantes, ahora llamada isla de plástico del Pacífico noreste, compuesta actualmente por 79.000 t de aparejos de pesca abandonados y 1,8 billones de piezas de plástico (Parker, 2018).

Al comenzar el siglo XXI, la denuncia sobre la presencia de microplásticos en el ambiente marino reactivó la investigación científica. Estos fragmentos se encontraban prácticamente

en todos los océanos del mundo, en lugares no imaginados, como en el aire de áreas marinas remotas, en el fondo de la Fosa de las Marianas y hasta en el hielo antártico (Ryan, 2015; UN Environment, 2018a, WWF, 2019a; Trainic et al., 2020). Se estima que en el mar hay aproximadamente 5,25 billones de partículas plásticas flotando y 14 millones de t de microplásticos residiendo en sedimentos de zonas profundas. Las concentraciones de desechos plásticos en el océano son tan altas, que es posible detectar parches de macroplástico satelitalmente, con un 86 % de precisión (Eriksen et al., 2014; Mattsson et al., 2015; Barrett et al., 2020).

Todas estas partículas se originan de los millones de t de desechos plásticos (entre 8 y 12,7 t) que son depositadas anualmente por los ríos en el océano (Lebreton et al., 2017; Rochman, 2018). Sólo un 20 % del plástico que ingresa al océano proviene de fuentes directas, como la industria de la pesca y/o la acuicultura, el transporte marítimo, actividades marinas industriales y el turismo (Andrady, 2011; Lavender, 2017; Lebreton et al., 2017). Las bolsas de plástico, los aparejos de pesca y los contenedores de comida constituyen más del 80 % de la basura en las playas y los fragmentos de plásticos conforman el 90 % de los desechos que se encuentran en el fondo del mar, con variaciones en distintos puntos geográficos (Galgani et al., 2015), perjudicando la vida silvestre y dañando las funciones y servicios de los ecosistemas (The Pew Charitable Trust, 2020).

Las acciones y denuncias de miles de organizaciones de la sociedad civil se sumaron para activar la acción política y, en 2011, durante la Quinta Conferencia Internacional sobre Basura Marina, se acordó desarrollar una estrategia con lineamientos para ayudar a los países a reducir los impactos de la basura marina provenientes de fuentes marinas, terrestres y de áreas de acumulación: la Estrategia de Honolulu (UNEP y NOAA, 2011).

En el año 2019, el Convenio de Basilea, un tratado internacional en el que 186 países se comprometen a la implementación de controles para el movimiento transfronterizo de los desechos peligrosos y su eliminación, incluyó al plástico dentro de su lista de materiales potencialmente peligrosos (Anexo VIII de la Convención, categoría A3210) y ofrece orientaciones sobre el manejo adecuado de los desechos según el tipo de polímero (Anexo IX de la Convención, categoría B3011) (UN Environment y Basel Convention, 2019). Al ser jurídicamente vinculante, los países deberán cumplir con los compromisos que sugiere el tratado, lo que constituye un paso importante para mitigar la problemática. Adicionalmente, delegados de varios países ante la Organización de las Naciones Unidas (ONU) apoyan que se establezca un tratado internacional enfocado exclusivamente en la basura marina y los microplásticos, similar al que se



Entre 1950 y 2017

Se generan un total de **8.300 millones** de t de plástico.



Hasta el 2017

Aproximadamente un 12 % del plástico producido fue incinerado y un 8 % fue reciclado, del cual solo un 10 % fue reciclado más de una vez.



2018

359 millones de t anuales (producción mundial de plásticos).



2019

El Convenio de Basilea, un tratado internacional en el que 186 países se comprometen a la implementación de controles para el movimiento transfronterizo de los desechos peligrosos y su eliminación, incluye al plástico dentro de su lista de materiales potencialmente peligrosos.



estableció para reducir el hueco en la capa de ozono, ya que consideran que el marco legal actual para la contaminación por plástico está fragmentado y no es efectivo (MacFarlane et al., 2020).

1.3. Proceso de producción

La producción mundial de plásticos ha crecido exponencialmente durante los últimos 60 años, pasando de medio millón de toneladas anuales en 1950 (Avio et al., 2017) a 359 millones de t en el 2018 (PlasticsEurope, 2019; WWF, 2019a). Esto representa una tasa de crecimiento anual del 8,4 %, que supera, en volumen total y en ritmo de crecimiento, a la mayoría de los materiales artificiales, exceptuando los que se usan ampliamente en construcción, como el cemento y el acero (Geyer et al., 2017). Se calcula que entre 1950 y 2017 se generaron un total de 8.300 millones de t de plástico. La amplia mayoría de esta producción (92 %), proviene de hidrocarburos fósiles y sólo un 8 % de residuos reciclados.

Actualmente, entre el 4 y el 8 % del petróleo extraído es usado en la producción de plásticos y la industria petroquímica espera que ese porcentaje ascienda al 20 % en el 2050 (CIEL, 2018; Nielsen et al., 2020) (Figura 1). Se estima que la producción de etileno y propileno, materias primas claves para la producción de los plásticos de uso más común, se incremente entre un 2,6 y un 4,0 % anual hasta el 2025, respectivamente. China es el líder mundial en la producción de propileno y el *boom* en la producción de gas natural líquido en los Estados Unidos, lo pone a la cabeza en la producción de etileno (CIEL, 2017a, 2017b; Kistler y Muffett, 2019). Si estas proyecciones se cumplen, para el 2040 la acumulación por gases de efecto invernadero relacionadas con la producción de plásticos podrían constituir el 19 % del carbono total presupuestado como meta para permanecer por debajo de los 1,5 °C de temperatura global establecidos en el Acuerdo de París (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2015). Adicionalmente, la cantidad de plástico que acabará acumulándose en los océanos podría triplicarse (Pew Charitable Trust, 2020).

1.4. Demanda

En lo que respecta a la demanda actual de plásticos, los empaques lideran el consumo global (36 %), seguida por la construcción (16 %) y los textiles (14 %) (Geyer, 2020; Geyer et al., 2017). La región norteamericana, China y Europa Occidental consumen un 21, 20 y 18 % de la producción total anual, respectivamente. Los polímeros de mayor uso son el polipropileno (PP; 16 %) para textiles y tapas de envases; los polietilenos de baja densidad y de baja densidad linear (LDPE, LLDPE; 12 %) para bolsas de plástico; el PVC para la construcción (11 %); el polietileno de alta densidad (HDPE; 10 %) para envases plásticos desechables, y el polietileno tereftalato (PET; 5 %) utilizado principalmente para bebidas embotelladas, los cuales suman aproximadamente el 50 % del uso de plástico total (UN Environment, 2018b; Geyer, 2020).

En la década de los setenta, el 100 % del plástico era descartado luego de un único uso. Ante la evidente presencia de los residuos plásticos, la misma industria propuso el reciclaje y también se inició la incineración (Ritchie, 2018; Science History Institute, s.f.). Hasta el 2017, aproximadamente un 12 % del plástico producido fue incinerado y un 8 % fue reciclado, del cual solo un 10 % fue reciclado más de una vez. Por tanto, de continuar con ese ritmo, se calcula que para el 2040 los porcentajes de incineración se incrementarán a un 18 %, los de reciclaje al 13 % y la generación de desechos plásticos vertidos al océano solo disminuirá en un 7 % (Ritchie, 2018; Pew Charitable Trust, 2020).

Reusar, reciclar, incinerar y depositar en rellenos sanitarios son las opciones implementadas hoy en día para la gestión de residuos plásticos, con los retos que cada técnica representa en cuanto a costos, demanda de productos remanufacturados y procesos de trabajo. Se calcula que actualmente el 76 % de los 9.200 millones de t de plásticos que se generaron entre 1950 y el 2017 se encuentran en rellenos sanitarios, vertederos o en el ambiente (Geyer, 2020). Tan solo en el 2010, 192 países generaron 275 millones de t de desechos plásticos, de las cuales entre 8 y 12,7 millones de t terminaron en el océano (Jambeck et al., 2015). En atención a estas cifras, es necesario aplicar cambios drásticos a todo el modelo de gestión, de lo contrario, se estima que para el 2040 estarán ingresando 29 millones de t de desechos plásticos por año al océano (The Pew Charitable Trust, 2020).

La evidente presencia de plásticos, sus fragmentos y químicos en todos los ecosistemas marinos, incluyendo los polos, así como su ingreso a las redes tróficas marinas y terrestres, y llegando a afectar la salud humana, refleja la debilidad en el desarrollo e implementación de estrategias actualizadas, manifestadas en las políticas públicas (González-Aravena, 2018; UNEP, 2018b; WWF, 2019b; HEAL, 2020; The Pew Charitable Trust, 2020).

La crisis de la contaminación por plásticos se agudizó con la llegada de la pandemia originada por la expansión del virus Covid-19 en el año 2020, debido a que el consumo de plásticos de un solo uso aumentó bajo la premisa de ser la opción más segura para evitar el contagio. Sin embargo, hasta el momento no hay evidencia científica que soporte esta afirmación. El impacto negativo aumentó a causa de las debilidades en los sistemas para gestionar este incremento de residuos y la ausencia de materiales alternativos que puedan ser desechados sin impactar los ecosistemas terrestres y marinos del planeta (De Blasio y Fallon, 2021).



Contaminación por desechos plásticos © Shutterstock

2 Tipos de plásticos

2.1. Definición y características de los plásticos

La palabra plástico se refiere a un estado físico de la materia, caracterizado por una gran fluidez y muy alta viscosidad. El estado plástico se encuentra en la naturaleza en forma de celulosa, resinas naturales, caseína de origen animal, látex natural, entre otros (Crawford y Quinn, 2017). El uso constante del término plástico se popularizó y hoy designa a aquellos polímeros sintéticos de alto peso molecular derivados del petróleo, el gas natural, el carbón y algunas materias orgánicas (Jasso-Gastinel et al., 2017; CIEL, 2018), que forman parte de una diversa familia de materiales que varían en su flexibilidad y durabilidad, de acuerdo a las condiciones de temperatura, presión y concentración en el proceso de producción (PlasticsEurope, 2019).

2.1.1. Plásticos de origen fósil

Las materias primas de los plásticos de origen fósil son el petróleo, el gas natural y el carbón (Figura 2). Mediante procesos de refinación, destilación y transformación

química se fraccionan en cadenas de moléculas o monómeros llamados olefinas. Al unirse, estas moléculas conforman polímeros 100 % sintéticos, es decir, hechos artificialmente. En el caso del petróleo, el resultado de la refinación son la nafta y el etano, mientras que en los casos del gas y el carbón son el propano y el metanol, respectivamente (Figura 2). Estos productos se someten a un proceso de craqueo¹ y, dependiendo del origen, se fragmentan en moléculas más pequeñas (monómeros) como el benceno (proveniente principalmente del petróleo), el etileno y el polipropileno (provenientes tanto del gas como del carbón). El estireno se genera a partir de la reacción química entre el benceno y el etileno. A continuación, los monómeros son sometidos a un proceso químico llamado polimerización, que une los monómeros para formar los polímeros o resinas, que después son moldeados con presión y calor en productos para empaques, bolsas y vajillas, provenientes de las diferentes resinas (Figura 2). La disposición posconsumo se puede dar de forma adecuada (columna azul) o inadecuada (columna anaranjada), donde cada casilla indica la cantidad de toneladas que se disponen por año en cada categoría, incluyendo los 31 millones de t que son recuperados para ser nuevamente convertidos en polímeros reciclables, como el polipropileno y el polietileno (National Geographic, 2018; Baheti, 2020).

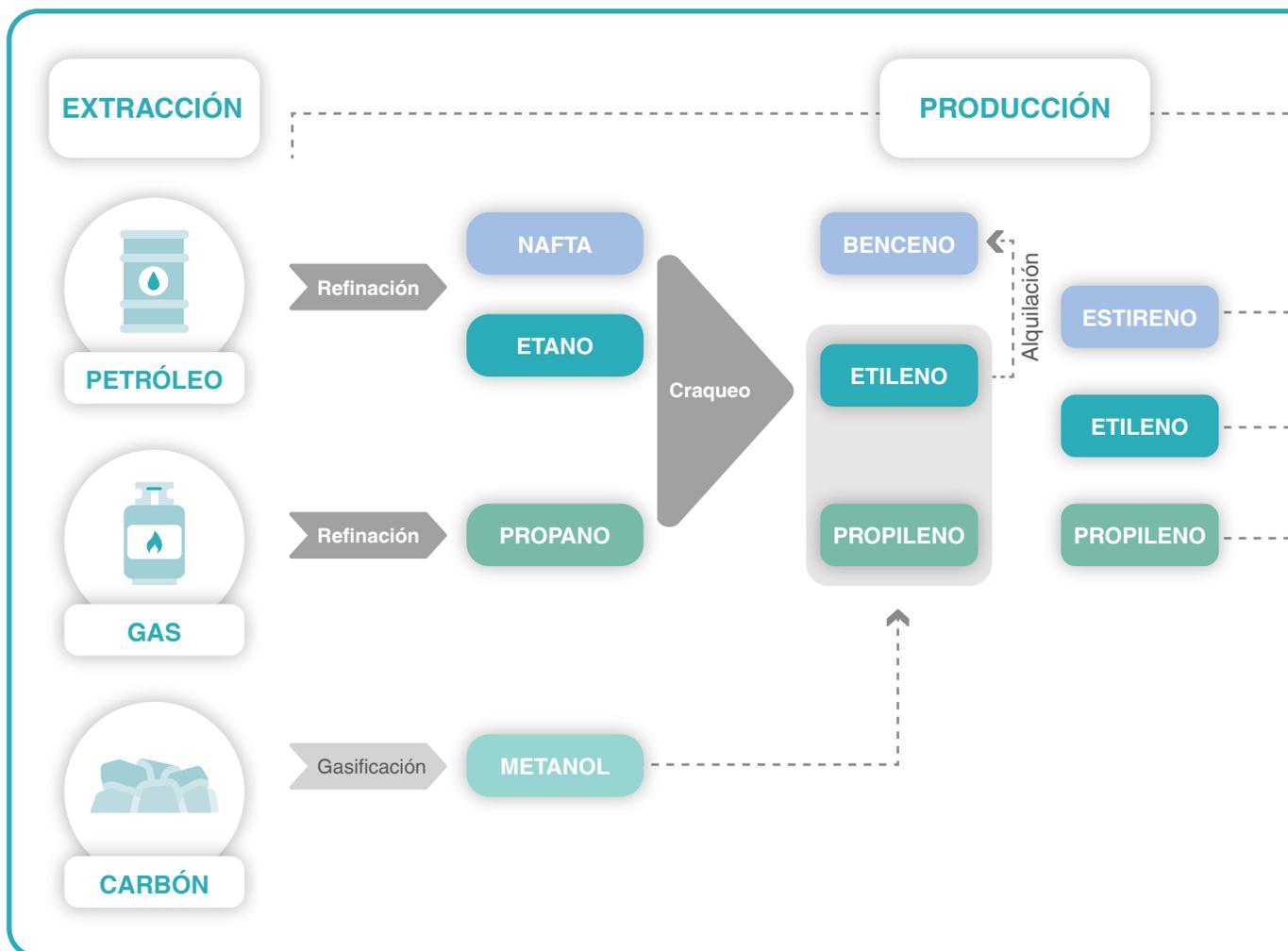


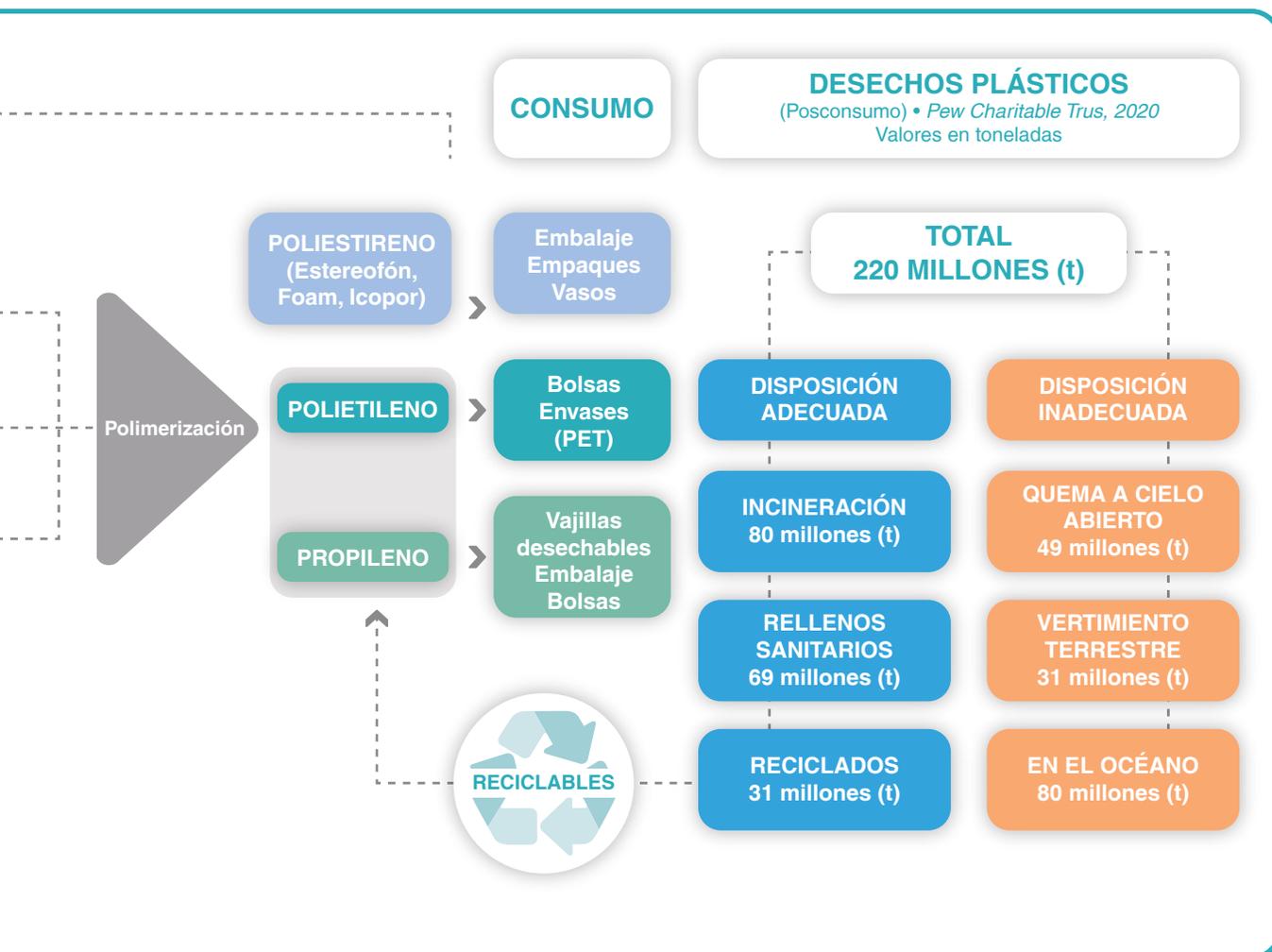
Figura 2 - Ciclo de vida de los plásticos de origen fósil (Fuente: National Geographic, 2018; Baheti, 2020)

¹ Proceso químico industrial mediante el cual se disocian, a temperatura y presión elevada, los hidrocarburos más pesados del petróleo con el fin de obtener una proporción mayor de productos ligeros que se pueden mezclar con combustibles.

Los monómeros que más se producen son el etileno, el propileno y el estireno, que al polimerizarse se convierten en polietileno (PE), polipropileno (PP) y poliestireno (PS). Al final del proceso, los polímeros se enfrían y se cortan en gránulos de preproducción o pellets. Así, el tipo de monómero del que se origina, la proximidad de las cadenas o polímeros y la fuerza entre las moléculas, determinan la rigidez, resistencia y punto de fusión del plástico (CIEL, 2017c; Gabriel, 2018; Kistler y Muffett, 2019; GQSP, 2020; Science History Institute, s.f.).

2.1.1.1. Aditivos

Para aumentar su resistencia al calor, a la degradación y a las bacterias, los plásticos se combinan con aditivos químicos (Cuadro 1). Los aditivos químicos más utilizados son los plastificantes (bisfenoles, ftalatos y alquilfenoles) ignífugos (retardantes de llamas bromados) y rellenos (ftalatos), que componen el 75 % de la producción anual de aditivos para plásticos. Los plastificantes debilitan la fuerza de las cadenas de



polímeros y dan más flexibilidad a estos materiales moldeables, de alta plasticidad y bajo costo comercial. Asimismo, algunos tipos de plásticos se asocian con un mayor uso de aditivos que otros, según el uso que se les vaya a otorgar. Sin embargo, los aditivos pueden agregar una carga extra de toxicidad al material. Dado que no están ligados a la estructura del polímero, más de 100 sustancias químicas peligrosas asociadas a estos aditivos pueden filtrarse fácilmente al ambiente, a los alimentos y hasta llegar a alterar el sistema endocrino (Groh et al., 2019; Flaws et al., 2020; Geyer, 2020; American Chemistry Council, s.f.).

Cuadro 1 - Lista de aditivos químicos presentes en los plásticos, con potenciales efectos nocivos para la salud humana (Fuente: Greenpeace, 2004; Flaws et al., 2020)

ADITIVOS QUÍMICOS	USOS PRINCIPALES	VÍAS DE EXPOSICIÓN	PREOCUPACIÓN DE TOXICIDAD
Bisfenoles (BP)	Están en las resinas epoxi y en plásticos de policarbonato, en envases reutilizables de alimentos, bebidas y botellas de agua, en revestimientos de latas de alimentos, equipos deportivos, medicamentos, lentes para anteojos y tuberías de agua de plástico.	Por filtración de materiales que están en contacto con los alimentos y bebidas que se consumen. También pueden encontrarse en aguas residuales, aguas subterráneas y cuerpos de agua dulce. Además, se encuentran en la arena de las playas, donde abundan los desechos plásticos marinos.	Está catalogada como sustancia preocupante por la Unión Europea, y cientos de estudios químicos han demostrado que es tóxico.
Ftalatos	Usados para producir o promover la flexibilidad y reducir la fragilidad en los plásticos. También como plastificantes en productos de consumo, médicos y de construcción de PVC, como matrices y disolventes en productos para el cuidado personal y como rellenos en medicamentos y suplementos dietéticos, envases de alimentos y bebidas y juguetes para niños.	Se filtran al medio ambiente y a productos que los humanos usan y consumen, a partir de artículos como envases de alimentos, cosméticos, productos para el cuidado del cuerpo y juguetes. También por la ingestión oral desde envases de alimentos y el uso de productos cosméticos.	Algunos ftalatos están restringidos en la Unión Europea y se clasifican como sustancias muy preocupantes.
Alquilfenoles	Están en productos de cuidado personal, pesticidas, detergentes, limpiadores industriales, pinturas de látex, y muchos tipos diferentes de plásticos, donde son usados como estabilizadores ultravioleta (UV) y estabilizadores de calor para PVC en tuberías de agua y pisos. También se usan para esparcir sustancias como pinturas y revestimientos sobre superficies. Algunos están aprobados para su uso como sustancias de contacto indirecto con alimentos.	Pueden filtrarse por las tuberías de conducción del agua potable. Además, por sus numerosas aplicaciones, siempre están en contacto con los humanos.	Son compuestos bioacumulables. El nonilfenol (un tipo de alquilfenol), ha sido recientemente clasificado en la Unión Europea como una sustancia tóxica.
Retardantes de llamas bromados (BFR)	Para reducir la inflamabilidad de los productos plásticos. Se utilizan en poliestirenos, espumas y resinas epoxi, que son usadas para fabricar carcasas electrónicas y revestimientos de cables, textiles, alfombras, espumas para muebles, materiales de construcción. Se encuentran comúnmente en juguetes de plástico para niños.	Se filtran de los productos y están presentes en el polvo doméstico. Los niños pequeños ingieren este químico de juguetes hechos con plásticos que lo contienen. El procesamiento de desechos plásticos es una fuente importante de exposición humana.	Están incluidos en el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP). No obstante, el Convenio de Estocolmo permite que algunos BFR estén en materiales plásticos para su reciclaje.

ADITIVOS QUÍMICOS	USOS PRINCIPALES	VÍAS DE EXPOSICIÓN	PREOCUPACIÓN DE TOXICIDAD
Compuestos perfluorados (PFAS)	Ampliamente usados en ropa resistente al agua y a las manchas, envoltorios en contacto con alimentos, lubricantes, tratamientos para alfombras, pinturas, utensilios de cocina y como dispersantes en espumas contra incendios, así como en otras aplicaciones industriales y de consumo.	Por su uso, pueden contaminar el agua potable y el agua subterránea. La mayoría de las personas están expuestas al beber agua del grifo. También se filtran en los sistemas de agua locales. Además, los PFAS se filtra desde los envoltorios y utensilios de cocina, a la comida.	Están incluidos en el Convenio de Estocolmo sobre COP. Incluso, los expertos técnicos de la convención han recomendado que los PFHx, utilizado como sustituto, se incluya en la lista.
Dioxinas	Son subproductos de procesos industriales y de combustión, generados durante la producción de materiales plásticos con BFR, así como cuando estos se incineran o calientan en un proceso de reciclaje, para volver a moldearlos en nuevos productos.	Pueden filtrarse por vía oral, dérmica y por inhalación. Son liposolubles. Se adhieren al suelo y pueden acumularse en los tejidos grasos de animales y humanos.	Consideradas las sustancias más tóxicas del mundo. No existe un nivel seguro de exposición a las dioxinas.
Estabilizadores UV	Para proteger los materiales plásticos de construcción, las piezas de automóviles, las ceras y las pinturas del deterioro debido a la radiación UV.	Pueden filtrarse hacia los alimentos desde los materiales que se usan para su envasado. También se han encontrado en el polvo doméstico.	Muchos se encuentran en la lista de sustancias candidatas altamente preocupantes de la Agencia Europea de Sustancias Químicas (ECHA, por sus siglas en inglés), debido a su naturaleza persistente, bioacumulativa y tóxica. El gobierno suizo ha presentado recientemente una propuesta al Convenio de Estocolmo para incluir el UV-328 como contaminante orgánico persistente.
Plomo y Cadmio	Como pigmentos, estabilizadores y catalizadores. Se encuentran en una variedad de productos de plástico, incluidos zapatos, productos de baño, tapetes, juguetes de plástico y electrónicos, carcasas para productos electrónicos de consumo, como televisores y computadoras personales, y plásticos de PVC blando, como los que se utilizan en juguetes y embalajes para juguetes y en asientos de automóvil.	Los bebés y los niños pueden estar expuestos al plomo en los juguetes y otros productos domésticos a través de sus comportamientos normales de llevar las manos a la boca.	Son metales tóxicos. No existen niveles seguros de exposición al plomo.

2.1.1.2. Clasificación según la reacción al calor

Según su tipo de reacción al calor, los plásticos se clasifican en **termoestables** y **termoplásticos**. Los termoestables sufren cambios químicos al calentarse, lo que impide volverlos a fundir o a reformar, mientras que los termoplásticos tienen la capacidad de fundirse al calor, remodelarse y congelarse repetidamente e ilimitadas veces, lo que los convierte en las resinas de mayor demanda (PlasticsEurope, 2019).

Entre los **termoplásticos** de mayor importancia y uso se encuentran el PE, el policarbonato (PC), el PP, el PVC, el PET, el EPS y el PS. Por su parte, los

termoestables de mayor uso son el poliuretano (PUR), los poliésteres insaturados, la resina epóxica, la resina de melamina y los ésteres de vinilo. Dentro de los menos conocidos se encuentran la silicona, el fenol (resinas de formaldehído), la urea (resinas de formaldehído), las resinas fenólicas y las resinas acrílicas (PlasticsEurope, 2019).

2.1.1.3. Clasificación según el tipo de resina

En general, los plásticos se clasifican en siete grupos (Cuadro 2), que incluyen las más de 80.000 resinas existentes, los cuales se identifican según el Código de Identificación de Resinas (RIC) (ASTM, 2020). Los códigos fueron desarrollados como guía por la industria del reciclaje, con números encerrados en flechas que giran en sentido horario para formar un triángulo, pero no indican si un empaque es reciclable o no. Sencillamente, es una clasificación que señala el tipo de resina o plástico utilizado (American Chemistry Council, s.f.).

Cuadro 2 -

Códigos de identificación de Resinas (RIC), tipo de plástico, porcentaje de producción para Europa y usos (Fuente: PlasticsEurope, 2019).

CÓDIGO	NOMBRE RESINA	GRUPO	USOS
1	Tereftalato de polietileno (PET)	Termoplásticos	Botellas para bebidas, tazas, vasos, etc.
2	Polietileno de alta densidad (HDPE)	Termoplásticos	Juguetes, botellas de leche, artículos de limpieza, etc.
3	Cloruro de polivinilo (PVC)	Termoplásticos	Marcos de ventanas, perfiles, revestimiento de suelos y paredes, tuberías, aislamiento de cables, mangueras, etc.
4	Polietileno de baja densidad (LDPE)	Termoplásticos	Bolsas, anillos de latas, tubos, contenedores, film agrícola y para envasado de alimentos, etc.
5	Polipropileno (PP)	Termoplásticos	Fibras industriales, tapas con bisagras, contenedores de alimentos para microondas, envoltorios de dulces, autopartes, tuberías, piezas de automóviles, billetes, etc.
6	Poliestireno expandido (EPS)	Termoplásticos	Utensilios de plásticos, envases de alimentos (lácteos, pesca), espuma de poliestireno, aislamiento de edificios, equipos eléctricos y electrónicos, revestimiento interior para frigoríficos, monturas de anteojos, etc.
7	Otros plásticos: Poliuretano (PUR), Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), tereftalato de polibutileno (PBT), policarbonato (PC), Polimetacrilato de metilo (PMMA), ácido poliláctico (PLA), entre otros.	Termoplásticos y Termoestables	Aislamiento de edificios, almohadas y colchones, espumas aislantes para frigoríficos (PUR). Tapas de cubo de ruedas de coche (ABS); fibras ópticas (PBT); lentes para anteojos, láminas para techos (PC); pantallas táctiles (PMMA); revestimiento de cables en telecomunicaciones (PTFE); y muchos otros en la industria aeroespacial, implantes médicos, dispositivos quirúrgicos, membranas, válvulas y sellos, recubrimientos protectores, etc.

2.1.2. Plásticos biobasados o de origen biológico

La producción de plásticos biobasados o de origen biológico se realiza a partir del procesamiento de biomasa vegetal, que luego es refinada, fermentada y transformada para producir las resinas que se convertirán en plásticos (OECD, 2013). Al igual que sus homólogos convencionales, los plásticos biobasados tienen aditivos químicos similares (Flaws et al., 2020). Los principales polímeros biobasados que se producen son el ácido poliláctico (PLA) (Figura 3) y los polihidroxialcanoatos (PHA) (Figura 4), que son producidos a partir de almidón o celulosa (Gilbert et al., 2015; European Bioplastics y Nova Institute, 2019). Los PHA son polímeros que se producen directamente a partir de la fermentación, es decir, son sintetizados por microorganismos. Por otro lado, los PLA provienen de una base natural, pero pasan por un proceso químico y al final de su ciclo de vida requieren de procesos de compostaje industrial, con incorporación de microorganismos, similares a los plásticos de origen fósil compostables (García et al., 2013; OECD, 2013; Biosphere, 2018).

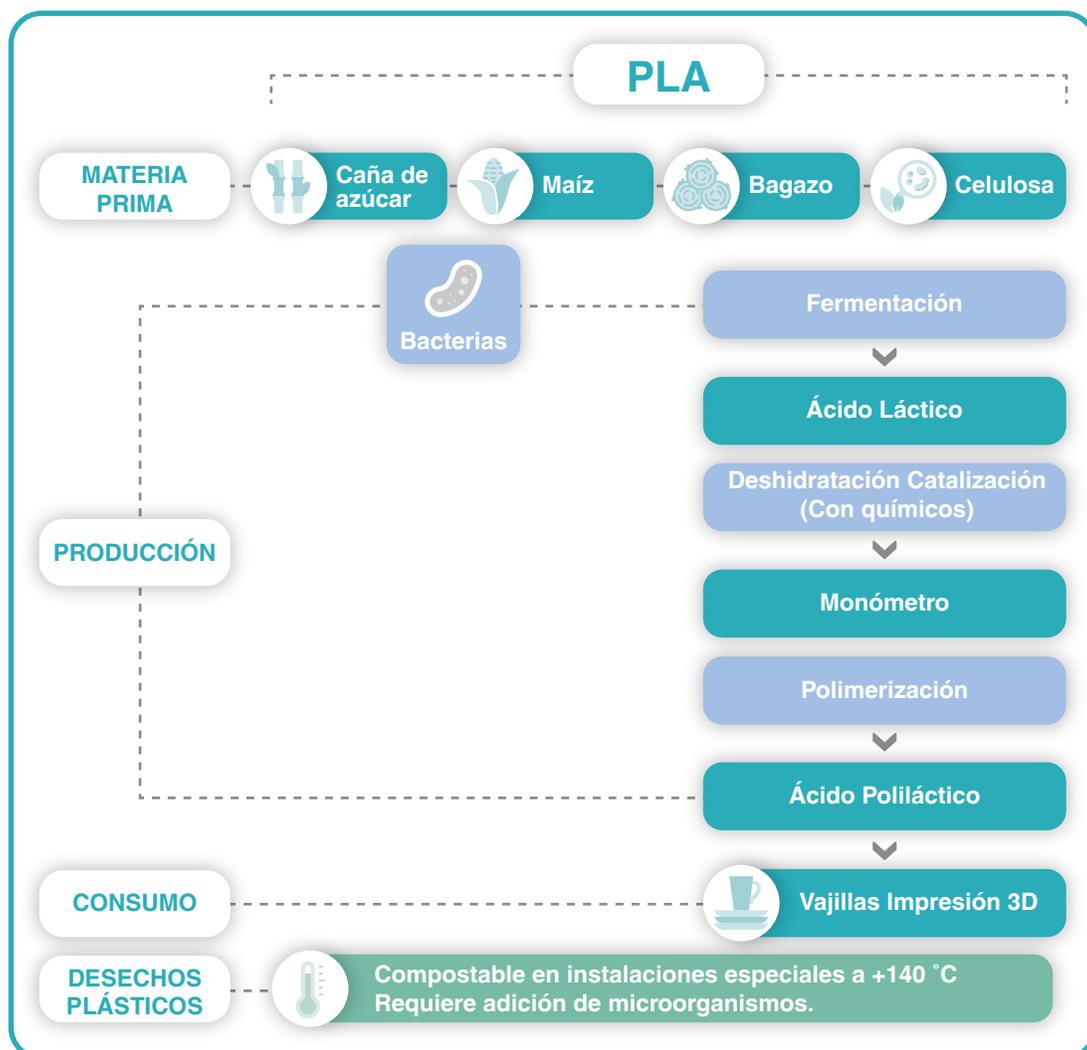


Figura 3 -

Ciclo de vida de un plástico creado a partir de biomasa. Dicha materia prima, después de haber sido fermentada por microorganismos, se somete a procesos químicos que terminan produciendo ácido poliláctico (PLA) (Fuente: Cho, 2017; Lucia, 2019)

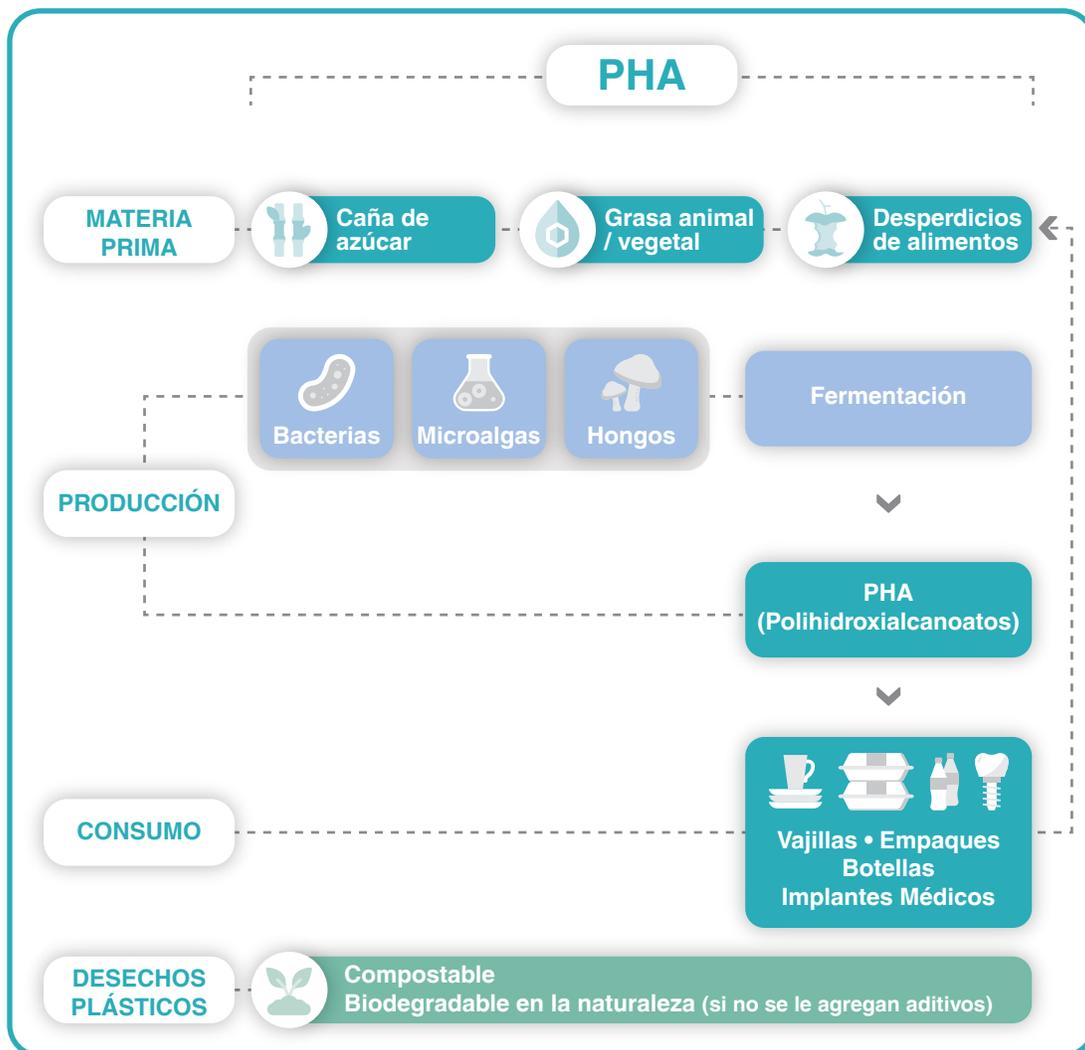


Figura 4 - Ciclo de vida de un plástico creado a partir del ácido láctico que se encuentra en fuentes renovables, que al exponerse a ciertos microorganismos terminan generando el Polihidroxialcanoato (PHA) (Fuente: Cho, 2017; Lucia, 2019)

Otros plásticos de base biológica son los elastómeros de poliéster o polímeros de rendimiento técnico de base biológica (European Bioplastics, 2019). Estos plásticos tienen las mismas propiedades que sus versiones de origen fósil y, en ocasiones, son una mezcla con petroquímicos. Aunque pueden reciclarse mecánicamente, suelen requerir procesos industriales de altas temperaturas, lo que implica un impacto ambiental similar al de su contraparte fósil (Kistler y Muffett, 2019).

La industria de los plásticos biobasados se divide en dos tipos de producción: los materiales biodegradables y compostables (PHA y PLA), y los materiales de origen biológico de alta durabilidad (elastómeros de poliéster). De acuerdo con esto, las opciones de disposición final o posconsumo de estos desechos serían: compostaje para los biodegradables compostables (dependiendo del tipo específico de plástico de origen biológico) y recuperación de monómeros o incineración para los no compostables; opciones que no son muy diferentes a la disposición de residuos plásticos de origen fósil y que presentan las mismas limitantes (OECD, 2013).

En el 2019 se produjeron 3,8 millones de t de polímeros de origen biológico, equivalentes al 1 % de la producción mundial de plásticos petroquímicos. La mayor

capacidad instalada para la producción de plásticos biobasados se encuentra principalmente en Asia (45 %), seguida por Europa (26 %), Norteamérica (18 %) y Suramérica (11 %). Se espera que la producción de Europa crezca al 31 % en los próximos cinco años, con una reducción en las demás regiones. Este crecimiento en Europa se atribuye a una mayor capacidad para la producción de plásticos sustitutos de origen biológico, así como de polímeros de caseína que solo se producen en esta región (Bioplastics Magazine, 2020).

Un 53 % (2 millones de t) de la producción total de plásticos biobasados se destinó al sector del envasado en 2019 (Narancic et al., 2018). Otros sectores como el automotriz, el transporte y la construcción han incorporado el uso de estos, aumentando la demanda. El PHA presenta el mayor incremento al ser usado en embalaje flexible (44 %), embalaje rígido (15 %) y agricultura (13 %). En cuanto al uso de otros plásticos de origen biológico en otros mercados, en este mismo año el sector textil tuvo la mayor demanda (20 %), con el uso de polítrimetileno tereftalato (PET) y acetato de celulosa (CA) (European Bioplastics y Nova Institute, 2019). Aunque este incremento de uso en la industria textil puede ser una respuesta para reducir los altos niveles de contaminación por plástico que produce, nuevamente se refleja la confusión con respecto a estos plásticos, ya que tanto el PET como el CA, aunque son de origen vegetal, no son biodegradables en ambientes naturales y/o caseros.

Al estudiar los plásticos, también se deben analizar conceptos fundamentales: *biodegradabilidad* y *compostabilidad*.

- 1 - **Biodegradabilidad:** consiste en un proceso de descomposición biológica que se lleva a cabo por organismos vivos en ambientes naturales (Tokiwa et al., 2009). Los plásticos de origen petroquímico no se biodegradan en condiciones naturales, ya que no hay ningún organismo en la naturaleza que pueda destruir las cadenas químicas de los polímeros que componen estos elementos (OECD, 2018). Igualmente, los bioplásticos requieren condiciones específicas de temperatura y humedad relativa para pasar por este proceso.
- 2 - **Compostabilidad:** es una condición que necesariamente deben presentar los plásticos para que sean biodegradables. En este caso, los materiales se desintegran totalmente en un tiempo promedio de tres meses y son capaces de facilitar el crecimiento de las plantas (OECD, 2013). El compostaje del plástico, de cualquier origen y que sea susceptible de ese proceso, requiere condiciones controladas especiales (p. ej. temperaturas prolongadas de más de 50 °C). Por ello, se determina que no existe plástico que sea compostable en ambientes naturales (Sivan, 2011; Kubowicz y Booth, 2017).

Al comprender estos conceptos, es posible establecer que el origen de los plásticos (fósil o biológico), no determina su capacidad para reintegrarse al ambiente de forma natural, ya que incluso aquellos que son producidos en base a materiales orgánicos diferentes al petróleo (bio-basados), requieren sitios especiales con condiciones controladas que faciliten su descomposición (Avio et al., 2017; Geyer et al., 2017).

Si su consumo comienza a generalizarse de la misma forma que el de los plásticos de origen petroquímico, su ocurrencia solo sumaría a las deficiencias que existen en el manejo de residuos sólidos y, especialmente, al gran problema de contaminación por plásticos en Latinoamérica y en el mundo, teniendo en cuenta también, que los plásticos biobasados no pueden reciclarse, ni reusarse, por sus características especiales que serán analizadas en el apartado 5.2.2. (Gall y Thompson, 2015; Grau et al., 2015).

2.1.2.1. Biodegradabilidad y compostaje de los plásticos de origen biológico

La degradación del plástico involucra cambios físicos o químicos causados por una degradación fotónica, térmica, hidrolítica o biológica, que transforman sus propiedades mecánicas, sus características ópticas o eléctricas, la fragmentación, la decoloración, entre otros (Shah et al., 2008; Jasso-Gastinel et al., 2017). La degradación biológica se refiere a la degradación y asimilación por microorganismos, hongos y bacterias, también llamada biodegradabilidad (Singh y Sharma, 2008; Andrady, 2017; Scalenghe, 2018).

Aunque la idea general es que la biodegradabilidad de los plásticos de origen biológico limita su perdurabilidad en el ambiente, reduciendo el impacto cuando se convierten en residuos (Beltrán-Sanahuja et al., 2020), la realidad, ya citada, es que estos materiales no se pueden degradar en el medio natural (OECD, 2018). Por ejemplo, la descomposición del PLA en un relleno sanitario, a una temperatura de 20 °C, tomaría 100 años (OECD, 2013). Y esta sería la misma situación de biobasados como los almidones termoplásticos mezclados, que requerirían de temperaturas entre 50 y 60 °C para degradarse (Tokiwa y Calabia, 2006), así como de suficiente oxigenación. Por ello, si los plásticos biobasados no se gestionan de manera correcta en instalaciones industriales, causarán el mismo impacto ambiental que los plásticos regulares (Gilbert et al., 2015).

Desafortunadamente, el uso indiscriminado del término “biodegradable” ha resultado en interpretaciones engañosas, en las que el consumidor asume, o es incitado a asumir, que todos los plásticos de origen biológico pueden biodegradarse, sin mencionar que en muchos de los casos, para que esto se logre, se requieren condiciones controladas de altas temperaturas en sitios especializados (Sivan, 2011; Kubowicz y Booth, 2017). Esto genera impactos en el comportamiento del consumidor, ya que al etiquetar productos como “biodegradables”, se tiende a aumentar la producción de desechos que terminan en el ambiente (UNEP, 2015).

Este es el caso de los plásticos oxodegradables, que se promueven como biodegradables, cuando en realidad se trata de plásticos convencionales con un aditivo prooxidante que acelera la fragmentación en partículas, que de todas maneras permanecen en el ambiente. Al no cumplir con las condiciones de compostabilidad, los plásticos oxodegradables no se pueden considerar ni plásticos biobasados, ni biodegradables (Kubowicz y Booth, 2017; New Plastics Economy, 2017).

Un estudio realizado por el Centro de Investigación de Productos Naturales (CIPRONA), de la Universidad de Costa Rica (UCR), concluyó que los productos PLA y OXO usados en Costa Rica no fueron compostables en las condiciones estudiadas, por lo cual, no podrían calificarse como biodegradables según los plazos establecidos por las normas IS/ISO20200:2004 y la australiana AS 5810-2010 para compostaje casero. Luego de un año y seis meses de experimento, los productos OXO, PLA y PE no presentaron ninguna señal de degradación. Después de 180 días adicionales de compostaje, el único material, que se degradó parcialmente bajo la norma australiana AS 5810-2010 fue el papel (Universidad de Costa Rica, 2020).

Muchas de las regulaciones para el uso y descarte de los materiales plásticos están basados en información incompleta y hasta errónea. Por ejemplo, para informar

a los usuarios sobre el consumo del plástico, Costa Rica impulsa la clasificación RCM (renovable, compostable, compostable en ambiente marino), la cual pretende identificar fácilmente materiales sustitutos a los plásticos convencionales que tengan menor impacto en el ambiente (Ministerio de Salud Costa Rica et al., 2017).

Según la propuesta, consignada en la Estrategia Nacional de Sustitución de Plásticos de un Solo Uso por Alternativas Compostables y Renovables, la clasificación estaría basada en las normas de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) ASTM 6400, 6488, 7081-5 y la norma del Comité Europeo de Normalización EN13432 (Ministerio de Salud de Costa Rica et al., 2017). Sin embargo, las normas como la D6400 y EN13432 indican que el material es compostable a nivel industrial y de forma controlada; por lo tanto, no se obtiene resultado alguno al practicarlo a nivel doméstico. Adicionalmente, las bases de la estrategia mencionada son débiles, pues la norma ASTM 7081-5 ya no se encuentra vigente y la ASTM 6488 no tiene ninguna relación con plásticos. Aunque la terminología de la biodegradabilidad y compostabilidad se utiliza ampliamente en la publicidad de los bioplásticos, muchas clasificaciones son engañosas si no están ligadas a estándares específicos. Si un material o producto se anuncia como biodegradable, se debe proporcionar más información sobre el tiempo, el nivel de biodegradación y las condiciones ambientales requeridas para su degradación natural (PlasticsEurope, 2019).

La biodegradabilidad de los plásticos se ha evaluado también en los ambientes marinos bajo ciertas condiciones ambientales definidas y controladas, donde los plásticos de origen biológico como el PHA muestran mayor degradabilidad que los plásticos convencionales, sin conclusiones sobre el tiempo que se tardaría en completar el proceso (Emadian et al., 2017; Beltrán-Sanahuja et al., 2020). En otros experimentos, los investigadores han observado que los polímeros suelen degradarse con mayor rapidez en ambientes menos contaminados del océano. Sin embargo, no todos los materiales biodegradables tienen la misma tasa de degradación y esta parece ser mayor en el fondo que en la columna de agua, probablemente debido a una menor cantidad de bacterias presentes en esta última (Thellen et al., 2008; Beltrán-Sanahuja et al., 2020).



Desechos plásticos se acumulan en la región © Shutterstock

3 El plástico en la región: Costa Rica, Panamá y Colombia

La industria mundial del plástico de origen fósil fue valorada en USD 522,6 mil millones en 2019 y se espera que entre el 2020 y el 2040 duplique su producción (Figura 5; Grand View Research, 2020; The Pew Charitable Trust, 2020). Costa Rica, Colombia y Panamá no son ajenas a esta industria y, con el fin de establecer el desarrollo del ciclo de vida de los plásticos en estos tres países, a continuación se presenta información sobre las distintas etapas del ciclo: i) producción; ii) comercio internacional con énfasis en los productos clasificados dentro de las partidas arancelarias² 3923 (artículos para el transporte o envasado de plástico; tapones, tapas, cápsulas y demás dispositivos de cierre, de plástico) y 3924 (vajilla, artículos de cocina, artículos de uso doméstico y artículos de higiene de tocador, de plástico) y iii) gestión y normativa.

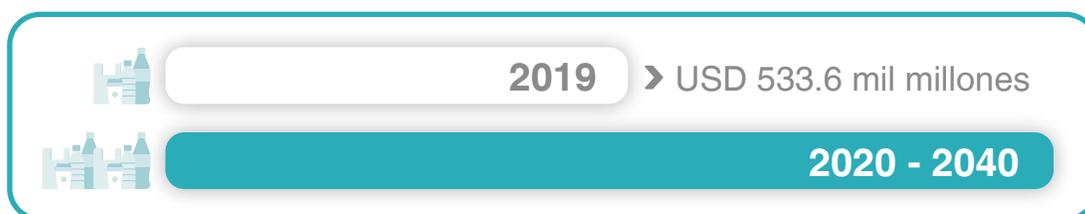


Figura 5 - Valor de la industria mundial del plástico de origen fósil para el año 2019 y proyección del aumento en la producción de plásticos para el periodo 2020-2040 (Fuente: Elaboración propia, a partir información consultada en Grand View Research, 2020 y The Pew Charitable Trust, 2020)

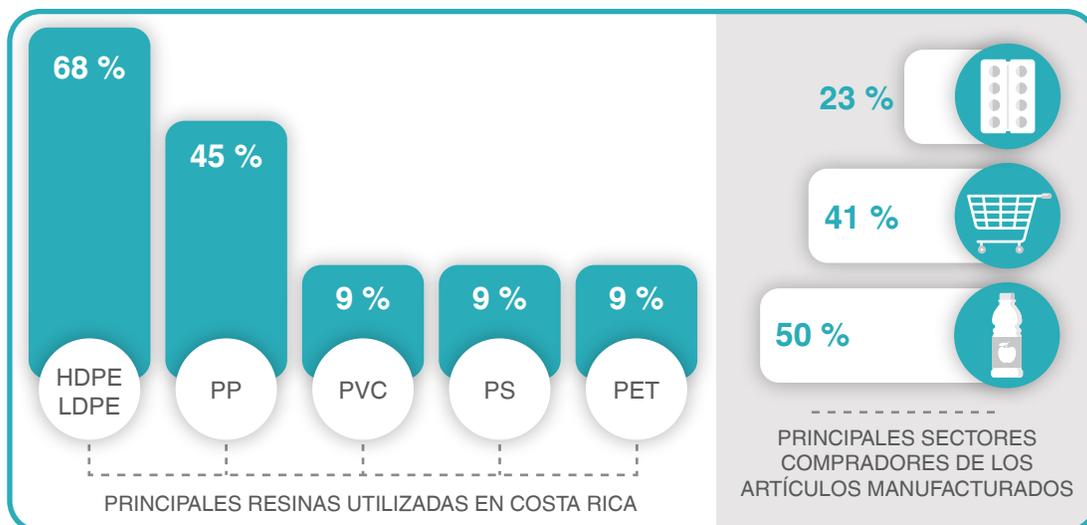
² Codificación numérica internacional que identifica los productos objeto de importación dentro de un sistema armonizado.

3.1. COSTA RICA



3.1.1. Producción, importación y exportación de plásticos

La industria manufacturera nacional de plásticos de origen fósil importa su materia prima principalmente de los Estados Unidos, China y El Salvador. Dicho sector se compone por 160 empresas dedicadas a la transformación del plástico, con un valor estimado de producción de USD 194 de millones en 2018 (Coto, 2019). Particularmente, el sector manufacturero de plásticos desechables (bolsas, envases, plástico para paletizar, etc.) se compone por 56 empresas. La principal resina utilizada en Costa Rica es el Polietileno (HDPE y LDPE), empleada por el 68 % de las empresas, seguida del PP (45 %), PVC (9 %), PS (9 %) y PET (9 %). Los principales sectores compradores de los artículos manufacturados son el alimentario (50 %), el consumo final (41 %) y el químico farmacéutico (23 %) (Figura 6; Coto, 2019).





Embalaje para botellas plásticas en el proceso de distribución © Shutterstock

En relación con la producción de plásticos de origen biológico, diferentes universidades públicas como la UCR, la Universidad Nacional (UNA), el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) y la Universidad Nacional Estatal a Distancia (UNED), están liderando investigaciones para producir localmente plásticos biobasados de los desechos agroindustriales de banano y piña, debido a su potencial de uso en el mercado costarricense (O’neal, 2018). Asimismo, la Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER) estima que el 77 % de las empresas utilizan plásticos denominados comercialmente como “amigables”, entre aquellos promocionados como plásticos reciclados, biodegradables y/o compostables. Estas empresas pagan un sobreprecio en sus insumos de entre un 60 y 240 % con respecto a las resinas tradicionales, lo cual desincentiva la reconversión de las empresas y obliga a buscar mercados con capacidad de pagar su sobreprecio (Coto, 2019).

Según la UCR, Costa Rica es el mayor importador de materia prima y artículos plásticos manufacturados en Centroamérica. El crecimiento en el uso de estos productos ha generado que las importaciones mensuales entre 2011 y 2019 se duplicaran, pasando de medio millón a un millón de dólares por mes, representando el 1,8 % del Producto Interno Bruto (PIB) en 2019. Se han identificado 131 empresas importadoras de plásticos: 51,9 % micro y pequeñas, 26 % medianas y 19,1 % grandes (Universidad de Costa Rica et al., 2019).

En materia de exportaciones, en el 2019 Costa Rica exportó un equivalente a 176.592 t de materias plásticas y sus manufacturas, con un valor FOB de USD 669.718.931 (Recomex, 2020). El sector exportador está representado por un total de 343 empresas que exportan más de 200 tipos productos plásticos, hacia unos 80 destinos (Coto, 2019; Soto, 2019).

3.1.2. Consumo

En Costa Rica se consumen 323.000 t de materiales plásticos anualmente, de los cuales más del 50 % son materiales de empaque y de productos de consumo que fueron descartados tras su único uso. Por ejemplo, anualmente se producen cerca de 700 millones de botellas de plásticos de un solo uso (Figura 7; Universidad de Costa Rica et al., 2019). La oferta productiva se concentra en empaques y envases ofrecidos por el 64 % de las empresas, seguida por las bolsas (50 %), el plástico para paletizar (18 %), la vajilla desechable (14 %) y el fleje (9 %) (O’neal, 2018; Coto, 2019; El Mundo, 2019b).



Figura 7 - Materiales plásticos consumidos en Costa Rica cada año (Fuente: Elaboración propia, a partir de información consultada en Universidad de Costa Rica et al., 2019)

3.1.3. Gestión de los residuos plásticos

Se estima que en Costa Rica se generan 4.000 t de residuos sólidos diariamente. En el 2018, los hogares contribuyeron con el 72,7 % de los residuos y otros (como comercios, escuelas, colegios, universidades) con el 27,3 %. Del total de los residuos, el 92,8 % recibe algún tratamiento: el 3,7 % se recicla, el 0,3 % se composta, el 0,2 % se incinera y el 88,6 % va a rellenos sanitarios y vertederos, un 7,2 % se dispone de forma no controlada, es decir, directo al ambiente (Figura 8; Ministerio de Salud de Costa Rica et al., 2021; Soto, 2019).

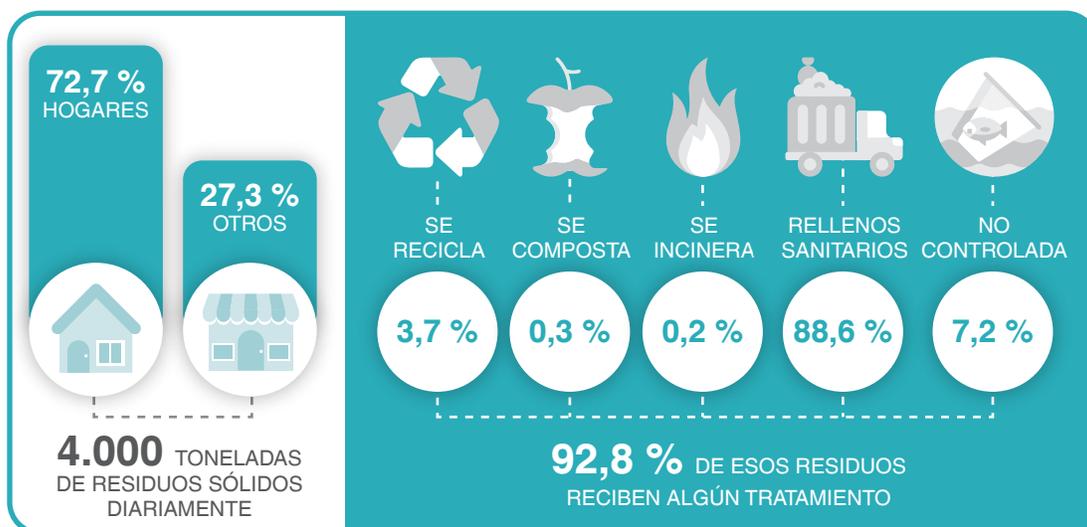


Figura 8 - Residuos sólidos generados en Costa Rica (Fuente: Ministerio de Salud de Costa Rica, 2021)

Los plásticos representan el 13,7 % (550 t diarias) del total de los residuos generados. Cerca de 160.600 t de plásticos terminan en entornos naturales de Costa Rica cada año, poniendo en riesgo la biodiversidad (Figura 9; Universidad de Costa Rica et al., 2019). Además, se calcula que cada día en el país se arrojan al mar un 80 % (440 t diarias) de desechos plásticos, equivalente a 35 camiones de basura diarios. El 11 % (60,5 t diarias) queda en botaderos y en el ambiente terrestre o fluvial. Por último, solo el 9 % (49,5 t) de los residuos de plásticos producido en Costa Rica es recuperado para su reciclaje (Ministerio de Salud de Costa Rica et al., 2017; Grajales, 2018; El Mundo, 2019b; Universidad de Costa Rica et al., 2019; 360 Soluciones verdes, 2020).



Figura 9 - Toneladas de plástico generadas en Costa Rica (Fuente: Universidad de Costa Rica et al., 2019)

3.1.3.1. Rellenos sanitarios y vertederos



En Costa Rica hay 36 vertederos, todos en proceso de cierre, muchos de ellos vinculados a 22 municipalidades en zonas predominantemente rurales. También, se cuenta con ocho rellenos sanitarios activos, la mayoría prestando servicio a cantones urbanos (360 soluciones verdes, 2020). Además, persiste la quema de residuos sólidos y la disposición inapropiada de materiales en ríos, terrenos baldíos y, por ende, la eventual contaminación del mar (Soto, 2019).

Sin embargo, en los últimos años se observan mejorías en la gestión de los residuos sólidos en Costa Rica, pasando de disponer el 75 % de los residuos en rellenos sanitarios en 2014, a un 87 % en 2017. Paralelamente, aumentó la recuperación para valorización, pasando del 1,3 % en 2015, al 6,1 % en 2017. En cuanto al uso de vertederos, la disposición en estos se redujo del 25 % en 2014, al 7 % en 2018. Otro avance durante la última década se observa en la transformación de vertederos a rellenos sanitarios en las zonas urbanas del país (Soto, 2019; Ministerio de Salud de Costa Rica, 2018).

Sin embargo, los retos son todavía importantes. Ochenta y siete de los 481 distritos del país no cuentan con recolección municipal, por lo que recurren a prácticas inadecuadas como quema de basura, disposición en predios o en cuerpos de agua. También, son evidentes las falencias del sistema de información de residuos en el país, pues el Ministerio de Salud no cuenta con una plataforma integrada con métricas y datos multianuales, haciendo imposible conocer con certeza la situación del país con respecto a las cantidades de materiales dispuestos (Soto, 2019). En la Figura 10 se puede visualizar una representación gráfica del ciclo de vida del plástico en Costa Rica, desde la importación de la materia prima hasta la gestión de sus residuos.



Figura 10 - Sistema de gestión del plástico en Costa Rica (Fuente: Elaboración propia, a partir de información consultada para esta investigación)

3.1.4. Normativas y políticas para la gestión de los desechos plásticos

A nivel normativo, en Costa Rica se cuenta con la Ley para Combatir la Contaminación por Plásticos y Proteger el Ambiente (Ley 9786, 2019), que prohíbe que las nuevas adquisiciones o compras dentro de las instituciones de la administración pública, empresas del Estado y municipalidades adquieran artículos de plástico de un solo uso, entre los que se encuentran los platos, vasos, tenedores, cuchillos, cucharas, pajillas y removedores desechables, así como otros utilizados principalmente para el consumo de alimentos. Asimismo, esta ley prohíbe la comercialización de algunos tipos de pajillas y bolsas plásticas de un solo uso.

Por otro lado, también se cuenta con la Ley que prohíbe la comercialización y la entrega de envases y recipientes de EPS en cualquier establecimiento comercial (Ley 9703, 2019), salvo en los casos que, por cuestiones de conservación o protección de los productos, no sea ambientalmente viable el uso de materiales alternativos. Esta ley también regula el EPS para el embalaje de electrodomésticos y afines, así como en usos industriales.

Desde el poder ejecutivo se ha impulsado y se encuentra vigente la Estrategia Nacional de Sustitución de Plásticos de un Solo Uso, que incluye: campañas de educación, el inventario de materias primas para posibles sustitutos de plástico y el seguimiento a las municipalidades para que promuevan el desincentivo de plásticos de un solo uso (Ministerio de Salud et al., 2017). Por último, se han emitido una serie de directrices ejecutivas que prohíben la comercialización e ingreso de plásticos de un solo uso en las áreas silvestres protegidas, que regulan el uso y compras de plásticos desde las instituciones públicas y, por último, se está por emitir una norma técnica para regular el etiquetado de productos plásticos.

Una de las principales limitaciones de la legislación costarricense es la autorización a sustituir materiales plásticos de un solo uso por plásticos de origen biológico supuestamente “de bajo impacto”, sin considerarse las limitaciones en la biodegradabilidad y reciclabilidad de dichos plásticos.

3.2. PANAMÁ



3.2.1. Producción, importación y exportación de plásticos

Panamá importa materias primas para la producción de plástico de los Estados Unidos, México, Colombia, Argentina y China. Entre 2015 y 2019, Panamá importó un promedio de 160.704 t de productos correspondientes a resinas, productos intermedios y manufacturas de plásticos, agrupadas en el capítulo 39 del Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías. De la materia prima que se importa, anualmente se producen en promedio 333.338 t de plástico al año (Figura 11) y en 2018 se alcanzaron las 324.011 t (FAS Panamá, 2020).



Figura 11 - Materiales plásticos producidos en Panamá cada año (Fuente: FAS Panamá, 2020)

Entre 2015 y 2019, las importaciones de productos correspondientes a plásticos de un solo uso o similares (partidas 3923 y 3924 del sistema arancelario) sumaron un total de 260.050 t, donde el 79 % correspondió a la subpartida de artículos para el transporte o envasado de plástico (3923); es decir, empaques de uso comercial por un valor promedio de USD 116.056.378 al año. En contraste, las exportaciones de

este mismo tipo de arancel fueron equivalentes a 1.158 t, con un valor promedio de USD 872.100 al año.

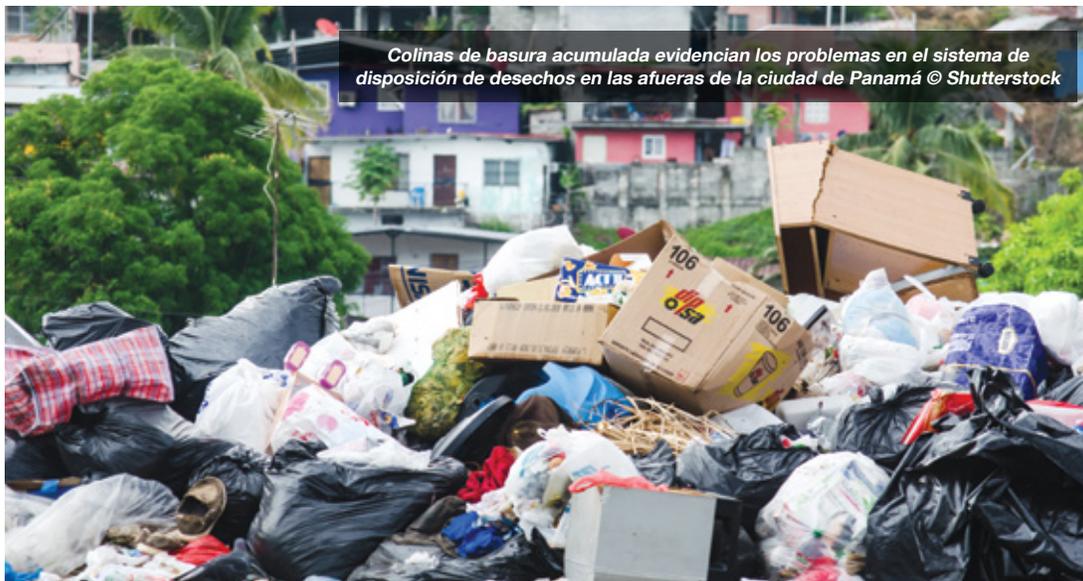
Según las estadísticas de importación de productos para uso doméstico, como vajillas desechables y artículos de higiene o tocador de plásticos (3924), entre el 2015 y el 2019 ingresaron al país 55.077 t, con un valor promedio de USD 43.568.721. Las exportaciones de productos correspondientes a esta partida, en este mismo periodo, correspondieron a 1.915 t, con un valor promedio de USD 1.338.804 al año.

3.2.2. Consumo

En Panamá se generan, en promedio, 333.338 t de plásticos al año; sin embargo, no hay registros directos del consumo (FAS Panamá, 2020). No obstante, los valores de las importaciones y de la alta producción de desechos *per cápita* (ver siguiente apartado) evidencian los altos niveles de consumo de estos productos a nivel interno y su dependencia del mercado externo. Un estudio realizado en la década de los 2000 indicó que el 70 % de la actividad económica relacionada con los plásticos se concentraba en las ciudades de Panamá y Colón, donde el mercado de los productos PET para la industria de envasados era el de mayor crecimiento (Cámara de Comercio de Guatemala, 2010).

3.2.3. Gestión de los residuos plásticos

Después de Chile, Panamá es el segundo país de América que genera más residuos sólidos per cápita. Según datos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la producción diaria de desechos en Panamá es de 1,03 kilogramos (kg)/ persona, de los cuales un 12 % corresponde a plásticos, equivalente a 191,580 t anuales de este tipo de desechos producida por la población total del país. En el 2020, 77.285 t de plástico no se gestionaron correctamente a nivel nacional, de las cuales un 87 % (67.672 t) presentó problemas de gestión en las zonas costeras.



De seguir las tendencias de manejo actuales, se proyecta que para 2050 estos valores lleguen a las 115.958 t de plásticos que no recibieron una gestión apropiada, desechándose material en los rellenos sanitarios y vertederos y/o contaminando los ecosistemas marinos. Se estima que un 17,2 % y un 22,2 % de los residuos sólidos son plásticos de origen doméstico e industrial, respectivamente (Figura 12; INECO y Autoridad de Aseo, 2017; Brooks et al., 2020; Christiansen, 2020).



Figura 12 - Tipos de residuos generados en Panamá (Fuente: INECO y Autoridad de Aseo, 2017; Brooks et al., 2020; Christiansen, 2020)

Cada una de las 13 unidades territoriales en las que se divide el país (10 provincias y 3 comarcas indígenas) es autónoma en el manejo de sus residuos, siendo las grandes urbes (Panamá y Colón) las que generan los mayores volúmenes (Christiansen, 2020). Por lo menos el 58 % de la población no separa los residuos para su posterior desecho y, aunque lo hicieran, no existe la infraestructura de transporte para recolectarlos de manera separada. Tanto en los municipios donde existe servicio de recolección (32,1 %), como en los que no, los residuos son depositados en vertederos o rellenos sanitarios, son incinerados o quedan en el medio natural (Rodríguez, 2019; Christiansen, 2020), ya que no existen las condiciones físicas para una disposición final adecuada.

3.2.3.1. Rellenos sanitarios y vertederos

De las aproximadamente 4.375 t de desechos que se producen diariamente en Panamá, sólo el 57,8 % terminan en rellenos sanitarios o vertederos administrados. Los desechos restantes terminan en los cuerpos de agua, el mar, el suelo urbano o en vertederos improvisados (Figura 13; Christiansen, 2020).

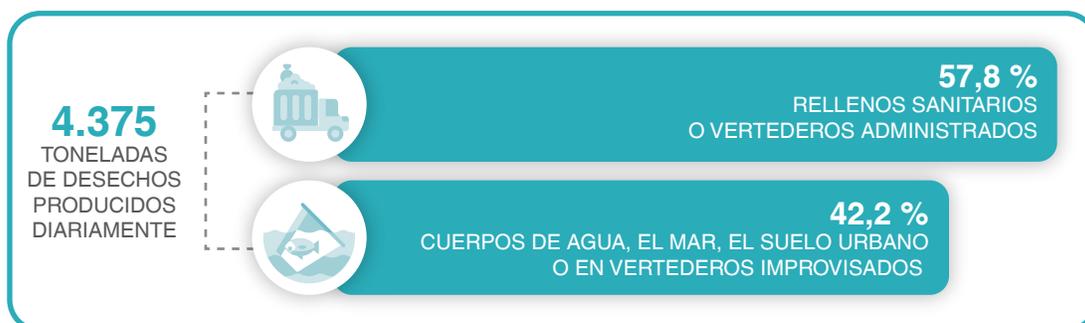


Figura 13 - Gestión de los desechos plásticos diariamente en Panamá (Fuente: Christiansen, 2020)



En el país existen 62 lugares de disposición, de los cuales solo dos son rellenos sanitarios con adecuaciones apropiadas: Cerro Patacón en la provincia de Panamá, y Río de Jesús, en la provincia de Veraguas (INECO y Autoridad de Aseo, 2017). Los 60 vertederos restantes se encuentran a cielo abierto y, en muchos casos, sin controles apropiados y carentes de programas de mitigación ambiental, representando una amenaza para pozos de agua y ecosistemas de manglar cercanos, dada la ausencia de medidas para prevenir la filtración de contaminantes (INECO y Autoridad de Aseo, 2017; Rodríguez, 2019; Christiansen, 2020).

En algunos sitios de disposición final de residuos, como el de Bocas del Toro y el de Cerro Patacón, la recuperación diferenciada es de tipo informal y la realizan los llamados pepenadores o segregadores, personas que buscan residuos para la venta y como medio de subsistencia. La actividad involucra un estimado de 600 personas expuestas a enfermedades, explotación y abuso (INECO y Autoridad de Aseo, 2017; Christiansen, 2020). De las 2.300 t diarias de residuos que llegan a Cerro Patacón, se recupera un 2 % (Alcaldía de Panamá, 2015).

En Panamá, también se han instalado algunas barreras retenedoras o trampas flotantes, como las barreras ecológicas atrapa sólidos (BEAS), instaladas por el Ministerio del Ambiente en los ríos Cárdenas, Tocumén, Juan Díaz y Puente del Rey. El Ministerio tiene proyectada la instalación de 500 de estas barreras en todo el país, fabricadas por personas que se encuentran privadas de la libertad (Palacio, 2019). Igualmente, la Fundación Marea Verde instaló en el Río Matías Hernández, que desemboca en el Manglar de la Bahía de Panamá, un sistema de barrera para detener las basuras que va bajando por el sistema fluvial, denominada “Barrera o Basura (B.O.B)”. Según una caracterización realizada en 2019, de lo que captura

la barrera, un 46,7 % corresponde a botellas plásticas y envases desechables de EPS, siendo las botellas de PET las más abundantes (29,1 %), seguido de productos desechables de EPS (17,2 %), ABS (6,5 %), textiles (6,4 %) y HDPE (6,3 %) (Marea Verde, 2019).

En la actualidad existen tres proyectos direccionados a la rehabilitación del vertedero del distrito de Boquete en Chiriquí, y los vertederos de Aguadulce y Penonomé en Coclé, todos en buen estado de avance (75, 85 y 88 %, respectivamente) (Alcaldía de Panamá, 2015).

3.2.3.2. Recuperación diferenciada de los desechos plásticos

En general, los datos en cuanto a la recolección de residuos de reciclaje han sido inexistentes, debido a que el país no exige un registro de los movimientos a nivel local. No obstante, se estima que entre el 70 y el 80 % de los residuos que llegan al relleno sanitario de Cerro Patacón, son reciclables. Un estudio experimental en Chiriquí informó que la cantidad de residuos plásticos que se podrían estar recuperando en cada uno de los hogares de la provincia podría elevarse a 26,0 kg de plástico al mes (Aparicio et al., 2020).

Otra fuente ha identificado que, de los desechos plásticos que se producen, las botellas PET se encuentran entre los más prevalentes (Marea Verde, 2019). Existen varios ejemplos que respaldan dicha afirmación. Por ejemplo, en el centro de acopio de la Fundación FAS Panamá, se reporta recibir entre 40.000 y 70.000 botellas de este tipo anualmente. De forma similar, el 30 % de los plásticos capturados por la barrera flotante instalada en el Río Matías Hernández corresponde a botellas PET y, finalmente, tras una jornada de limpieza en 58 playas del país se recolectaron 43.000 botellas PET (FAS Panamá, 2020). Esta situación requiere de atención, ya que además de indicar deficiencias de comportamiento en la ciudadanía, la competencia con los plásticos vírgenes está reduciendo la viabilidad financiera de reciclar tanto estas botellas, como el HDPE. En 2019, de las 23.308 t recuperadas de estos materiales, solo se pudieron comercializar 19.890 t, es decir, el 85 %, ya que el resto no tuvo compradores (Arosemena y Del Cid, 2016; Marea Verde, 2019).

Sin embargo, los resultados del Programa Basura Cero del Municipio de Panamá indican cambios importantes reflejados en el primer piloto, donde se recuperaron 340 t de material reciclable, entre el 2015 y el 2019 (Loayza, 2019). Durante la implementación del programa, se habilitaron estaciones de reciclaje en los corregimientos de Betania, Chilibre y Tocumen, además de un centro de compostaje para residuos orgánicos en el “Centro de Acopio de Reciclables de Chitré” (INECO y Autoridad de Aseo, 2017). Este programa, establecido para el periodo 2015 – 2035, tiene como objetivo mejorar la disposición de los residuos, implementando la reducción, la reutilización y, en última instancia, el reciclaje. Dentro de las líneas de trabajo se encuentran: i) mejorar el marco jurídico local y nacional mediante la implementación de las normas vigentes y ii) fortalecer las capacidades e impulsar nuevas regulaciones (Alcaldía de Panamá, 2015). Esto se ha visto reflejado en dos leyes pioneras en Latinoamérica, que prohíben las bolsas de polietileno y los plásticos de un solo uso detalladas en el apartado 3.2.4.

Más recientemente, un convenio de cooperación firmado entre el Ministerio de Ambiente, la Alcaldía de Panamá, la Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario (AAUD), la Asociación Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ANCON), y las empresas privadas Cervecería Nacional y Coca Cola, está impulsando el programa “Recicla por tu Futuro”, disponiendo estaciones de reciclaje en todo el país y potencializando la iniciativa Basura Cero (reciclaportufuturo.org). Adicionalmente, existen empresas privadas como RECIMETAL S.A, FAS Panamá, Panamá Recycling, Greenlife Recycling, entre otras, que recuperan plásticos y, además, realizan campañas de sensibilización (Rodríguez, 2019). También existen las iniciativas Punto Limpio y Drive Thru, de la Fundación Costa Recicla, en las que se instalan puntos de reciclaje y mensualmente se recuperan materiales reciclables, permitiendo a los ciudadanos entregar residuos como cartón, tetrapak, latas de aluminio, latas de conserva y botellas de vidrio (verde, ámbar y transparente), desde sus vehículos (Fundación Costa Recicla, 2019).

En la Figura 14 se presenta en resumen el ciclo de vida del plástico en Panamá, de acuerdo a la información consultada para esta publicación.



Figura 14 - Sistema de gestión de los plásticos en Panamá (Fuente: Elaboración propia, a partir de información consultada para esta investigación)

3.2.4. Normativas y políticas regionales para la gestión de los desechos plásticos

En Panamá se han adoptado diferentes leyes orientadas a combatir la contaminación por plástico y a eliminar el consumo de aquellos de un solo uso. Durante la Cumbre Mundial del Océano (2017) y en el marco de la iniciativa #MaresLimpios, ¡Cambia la marea del plástico!, Panamá se comprometió a desarrollar un plan de acción enfocado al manejo de la basura marina. El borrador del Plan de Acción de Basura Marina para Panamá fue presentado en 2020 e incluye un sistema de indicadores de resultados y de gestión, para establecer una línea base que permita medir los avances en la reducción de basura marina y sus impactos (Ministerio de Ambiente de Panamá, 2020).

La Ley 1 (2018), promueve el uso de bolsas reutilizables y, a su vez, prohíbe las bolsas de polietileno para el transporte de mercancías en supermercados, almacenes, autoservicios y comercios en general, salvo las bolsas que contengan alimentos o insumos húmedos elaborados o preelaborados, mientras no se cuente con sustitutos compatibles con la minimización del impacto ambiental. Esta norma es complementada por la Resolución 24 (2019), emitida por el Ministerio de Comercio e Industrias, que establece el procedimiento para verificar la presencia o ausencia de polietileno en las bolsas que pretendan ser importadas y comercializadas en Panamá.

Asimismo, la Ley 6 (2018), establece la gestión integrada de residuos sólidos en las instituciones públicas. La misma incluye entre sus objetivos el reducir la generación de residuos y la reutilización, integra criterios de consumo responsable y la creación de soluciones sustentables mediante la eliminación en las compras de productos que impacten al ambiente una vez desechados (p. ej. los envases de poliesterino expandido).

La Ley 33 (2018), establece la Política Basura Cero y su marco de acción para la gestión integral de residuos, reconociendo principios como el de responsabilidad extendida del productor, el de jerarquización en la gestión de los residuos. También contempla medidas orientadas a reducir la generación, aplicables a autoridades nacionales, municipales, comarcales, comercios y la ciudadanía en general; e incluso dispone que el Estado establecerá metas para la eliminación de envases posconsumo desechables, con prioridad en la eliminación del EPS.

Más recientemente y de forma pionera, la Ley 187 (2020), regula la reducción y el reemplazo progresivo de los plásticos de un solo uso en todo el país, integrando este objetivo dentro de la política ambiental del Estado panameño, además de contemplar la creación de un Plan Estratégico Nacional para la Reducción de Plásticos de Un Solo Uso, bajo responsabilidad del Ministerio de Ambiente, quien deberá desarrollarlo, implementarlo y actualizarlo según se requiera. La Ley contiene medidas concretas de sustitución gradual de 11 productos plásticos desechables por alternativas sostenibles de menor impacto para el ambiente y la salud, con la salvedad que estos no podrán ser reemplazados por bioplásticos desechables.

3.3. COLOMBIA



3.3.1. Producción, importación y exportación de plásticos

Colombia es productor de resinas plásticas a partir del petróleo, el gas natural y el carbón. Las cuatro refinerías del país tienen una capacidad para el procesamiento de petróleo crudo de 450.000 barriles por día (bdp), aproximadamente. La producción de materias primas para plásticos se centra en las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena que, conjuntamente, tienen una capacidad de refinación de 415.000 barriles por día (bpd), lo cual representa un alto potencial para la industria del plástico (Invierta en Colombia, s.f.; Sáenz, 2018).

En 2019, Colombia produjo 1,36 millones de t de resinas plásticas. Las plantas de polímeros de PP y de PVC representan el 74 % de la producción total de resinas (Figura 15). El valor restante corresponde a PS, LDPE y PET reciclado, entre otros (Acoplásticos, 2020). Asimismo, Colombia importa una cantidad considerable de plásticos. Sólo en 2019 se importaron 51.470 t, de las cuales un 7 % corresponde a plásticos de un solo uso (DIAN, 2020; GSQP, 2020).

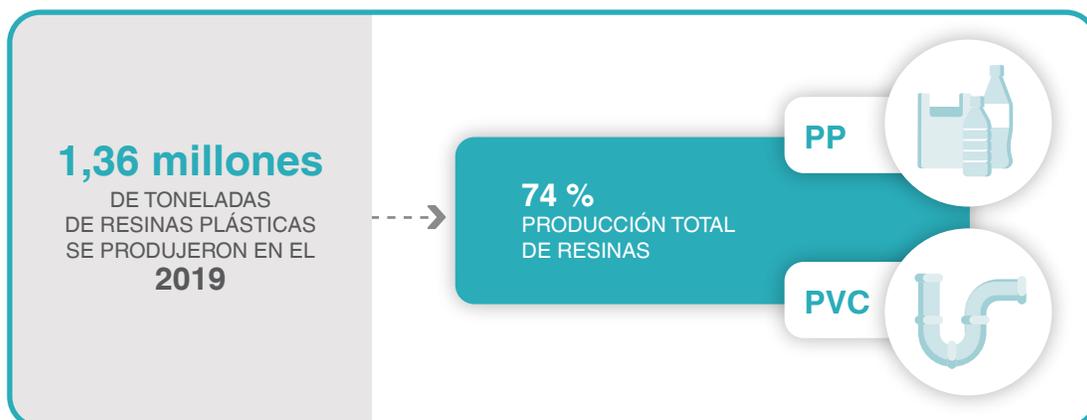


Figura 15 - Producción de resinas en Colombia para el año 2019 (Fuente: Acoplásticos, 2020)

Se estima que en 2017, la producción de bolsas plásticas en Colombia, incluyendo bolsas plásticas marcadas, sin marcar y las de empaque al vacío, superó las 60 mil t. Los plásticos de un solo uso, como las pajillas y las tapas, alcanzaron una producción de 2 mil y 23 mil t anuales, respectivamente (DANE, 2018; Greenpeace, 2019). En 2018, el consumo nacional de plásticos de un solo uso fue de 891 mil t. En 2019 se produjeron en el país más de 41.700 millones de unidades de envases y empaques plásticos (GQSP, 2020).

En cuanto a la producción de polímeros derivados de fuentes biológicas o renovables, como el almidón de maíz y otros vegetales, aunque se reconoce el potencial de Colombia para producir este tipo de materiales (Acoplásticos, 2018) y que existen empresas y emprendimientos dedicados a este campo (p. ej. InterEcológicas, Compostpack y Ecobioplast), a nivel nacional no existe un sistema estadístico público que registre los valores de este mercado.

Los registros entre 2015 y 2019, del Sistema Estadístico de Comercio Exterior (SIEX) de la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales de Colombia (DIAN), indican que tanto las importaciones como las exportaciones de plásticos con partidas arancelarias correspondientes a un solo uso o similares, han ido incrementando. Los productos para embalaje y empaques de alimentos (clasificados dentro de la partida arancelaria 3923), presentan un comercio internacional en mayores cantidades que los productos desechables (platos, cubiertos, etc.) para el hogar (clasificados dentro de la partida arancelaria 3924).

El 79 % de las exportaciones del 2019 se hicieron a Brasil (40 %), India (10 %) y los Estados Unidos (7 %). En ese mismo año, el 64 % de las 756 mil t de plásticos que se exportaron correspondió a resinas para transformación y el 36 % restante a semiproductos y manufacturas (Acoplásticos, 2020; Sáenz, 2018). Según el diagnóstico del Programa Global de Calidad y Normas (GQSP, 2020), las exportaciones en la categoría de envases y empaques alcanzaron en el 2018 un valor de USD 258,6 millones. Cabe agregar que el clúster de Cartagena es el primer productor y exportador de productos petroquímicos-plásticos de Colombia (Invierta en Colombia, s.f.).

En 2019, las principales importaciones fueron polímeros de etileno (53 %) y politereftalato de etileno (17 %). Los mayores proveedores de las materias plásticas importadas al país son los Estados Unidos (45 %), Brasil (15 %) y México (10 %). Entre los productos que más se importan se encuentran las aplicaciones para uso doméstico (30 %), los materiales para la construcción (26 %), artículos para envases o transporte incluidas las tapas (23 %), calzado con sus suelas y tacones (21 %), películas, láminas y similares (19 %), tubos y accesorios de tubería (12 %) (Acoplásticos, 2020).

3.3.2. Consumo

En el país se consumen alrededor de 1,3 millones de t de resinas plásticas al año, entre materia prima y productos terminados, de los cuales solo se recicla entre el 15 y el 17 %. De ese total, aproximadamente 891 mil t de plástico que se consumen corresponden a productos de un solo uso (siendo el 55 % destinado a empaques y envases), de los cuales un 93 % no se recicla. Los sectores que consumen y distribuyen estos artículos plásticos son principalmente la industria de alimentos

(54 %), seguida por las bebidas (39 %), cosméticos y aseo (3 %), cuidado del hogar (3 %) y otros (7 %) (Acoplásticos, 2018; 2020; DANE, 2020; Sáenz, 2018; Semana Sostenible, 2020a).

En 2018, el tamaño del mercado de los plásticos de origen fósil en Colombia fue de USD 7.302 millones, con una producción local de USD 5.564 millones. El tamaño de mercado de plásticos registra un crecimiento histórico anual compuesto del 10,1 % y se espera que al año 2032 sea de USD 10.649 millones, con un aumento proyectado del 7,8 % (Invierta en Colombia, s.f.; GQSP, 2020).

3.3.3. Gestión de los residuos plásticos



En 2019, los colombianos produjeron aproximadamente 11.787.310 t de residuos sólidos (Figura 16; SSPD, 2020), de las cuales, un 40 % tienen potencial de aprovechamiento y, de estas, la mitad corresponden a plásticos de un solo uso, como bolsas plásticas, empaques, PET, entre otros, que según la Procuraduría General de la Nación (PGN) equivaldrían a USD 658 millones en plástico aprovechable, que termina en los rellenos sanitarios o en la naturaleza (Acoplásticos, 2020; Cámara de Comercio de Bogotá, 2019).

En Colombia solo se recicla entre el 15 y el 17 % del plástico, debido a que el sistema de gestión no es eficiente por varias razones, entre ellas: i) poca formalización del sector del reciclaje (el 79 % de las personas se encuentra en condiciones laborales informales), ii) inexistente mercado para la mayoría de los materiales recuperados (p. ej. solo el PET tiene compradores y a muy bajo precio), iii) la tasa de recuperación de

residuos obligatoria deja por fuera el 70 % de la producción y iv) solo el 50 % de las organizaciones de recicladores están siendo supervisadas por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Figura 16; SSPD, 2020). Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), tan solo en Bogotá se producen 6.300 t de basura al día y apenas entre el 14 y 15 % son recuperadas, y según la caracterización de la composición media, el 11 % corresponde a plásticos (Figura 16; UAESP, 2021).



Figura 16 - Gestión de los residuos en Colombia (Fuente: Cámara de Comercio de Bogotá, 2019; Acoplásticos, 2020; SSPD, 2020; UAESP, 2021)

En el 2019, a Doña Juana, el relleno sanitario de la ciudad, llegaron 950 t de material potencialmente reciclable, siendo el 45 % (428 t) correspondiente a plásticos, seguido por un 23 % de papel y cartón, un 15 % de textiles, un 11 % de vidrio y un 6 % de metales. De los plásticos que llegan al relleno, la mayor cantidad corresponde a HDPE (Ramos, 2020; Semana Sostenible, 2020b). Sin embargo, las estadísticas generales sobre programas de aprovechamiento en otras partes del país están limitadas por las condiciones de informalidad en las que se realizan estas actividades (Contraloría General de la República, 2018).

3.3.3.1. Rellenos sanitarios y vertederos

El último informe nacional de disposición de residuos sólidos de la SSPD reporta que los sitios autorizados en Colombia para disposición final de residuos sólidos incluyen 169 rellenos sanitarios, 17 vertederos (celdas de contingencia) y cuatro plantas de tratamiento. Los sitios no autorizados incluyen 99 botaderos y 14 celdas transitorias, que debieron clausurarse cuando se autorizaron las celdas de contingencia en el 2010, para un total de 303 registros (SSPD, 2020).

Sin embargo, 12 de los 303 sitios de disposición reportados ya tienen vigencia vencida, 33 de ellos completarán su vida útil en los próximos tres años, 57 disponen de una durabilidad estimada de entre tres y nueve años, y 81 (27 %) tiene vida útil de más de nueve años. No hay información con respecto a los 120 sitios de disposición restantes (38 %), correspondientes a botaderos a cielo abierto y vertederos transitorios no autorizados. Se estima que, bajo las condiciones actuales, para el año 2030 se producirían 18,74 millones de t de residuos sólidos que terminarían en rellenos sanitarios sin capacidad para recibirlos o dispuestos de forma no controlada en ambientes naturales (CONPES 3874, 2016; SSPD, 2020).

El 74 % de los envases plásticos en Colombia termina en los rellenos sanitarios. Las mayores deficiencias se presentan en los municipios costeros. Pese a que el 55 % de ellos cuenta con sitios adecuados para la disposición final, existen carencias en el diseño e implementación de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de las instalaciones, tanto en la costa como en el resto del país, así como irregularidades en la asignación de recursos para el cierre y la posclausura cuando se cumplen las vigencias. Adicionalmente, en un 26 % de los municipios litorales, los ciudadanos depositan sus residuos en botaderos a cielo abierto y un 8 % directamente en cuerpos de agua que los transportan directamente al mar, exacerbando la problemática de la contaminación marina en el país (Nieto y Lopez, 2017; Contraloría General de la República, 2018; Greenpeace, 2018).

Según el Departamento Nacional de Planeación, los sitios de disposición final de desechos de 231 municipios de Colombia tienen riesgo de colapsar en 2021. Además, como consecuencia del manejo inadecuado, se registra la presencia de gases tóxicos como ésteres, sulfuro de hidrógeno, compuestos organosulfurados, alquilbencenos y limoneno³ entre otros, que pueden tener efectos graves sobre la salud (Contraloría General de la República, 2018).

3.3.3.2. Recuperación diferenciada de los desechos plásticos

El modelo de libre competencia, en cuanto a las actividades de separación y aprovechamiento de residuos, es una limitante tanto para el seguimiento como para el control de la gestión (Contraloría General de la República, 2018). En Colombia, solo entre el 15 y el 17 % de las más de 11.787.310 t de residuos sólidos anuales son recuperadas (CONPES 3874, 2016). Cabe destacar que, en promedio, un reciclador puede recolectar entre 2,4 y 2,7 t de material reutilizable al mes (Semana Sostenible, 2020c).

Se estima que existen 60 mil recicladores que viven principalmente de la recolección del PET, pero que también reciclan otros materiales como papel, cartón y metal (ENKA y APROPET, mencionado en entrevista en Semana el 12 de octubre de 2019). Las 256 empresas registradas en Bogotá y Medellín que se dedican a la transformación del plástico posconsumo, transforman más de 160.000 t/año, procesando entre el 81 y 100 % de material, donde el 2,6 % (4300 t/mes) corresponde a resinas PET y HDPE y el 1,1 % (1800 t/mes) a LDPE y PP.

³ Sustancia natural que se extrae del aceite de las cáscaras de los cítricos y que da el olor característico a los mismos.

De los 12 millones de botellas de PET diarias que salen al mercado, un 25 % se reciclan. La materia prima resultante de la transformación sirve para la elaboración de envases retornables y no retornables, como los utilizados por las fábricas de gaseosas, compuestos en un 46 % de resina PET reciclada, y el restante 54 % es de resina virgen. El producto de esta transformación también se utiliza para la producción de otros recipientes termoformados y resinas PET utilizadas en otros segmentos de la industria plástica, así como fibras empleadas en aplicaciones textiles. En contraste, hay materiales como el plástico ámbar que no tienen ninguna demanda y por este motivo no se reciclan (Cámara de Comercio de Bogotá, 2019; Acoplásticos, 2020).

Como se señaló en el segundo párrafo del apartado 3.3.3., el sistema de recuperación y reciclaje colombiano sufre de diversos problemas estructurales, entre ellos, el acceso a la información por parte de la SSPD, sobre los valores reales en cuanto a recuperación de residuos sólidos, incluidos los plásticos (SSPD, 2019). Por otro lado, el Sistema Único de Información (SUI) de Servicios Públicos Domiciliarios, alimentado con información proporcionada por los operadores de los rellenos sanitarios y los recicladores, presenta bastantes inconsistencias debido a que no se actualiza de manera apropiada (Contraloría General de la República, 2018), lo cual se pudo constatar durante la fase de búsqueda de información para el presente análisis.

Durante la crisis de la Covid-19, el reciclaje ha disminuido aún más. Pese a que los recicladores han continuado operando, los niveles de separación en la fuente son aún menores y gran cantidad de material aprovechable ha terminado en los rellenos sanitarios (Rodríguez, 2020). A manera de resumen, en la Figura 17 se presenta el flujo del ciclo de vida del plástico en Colombia.

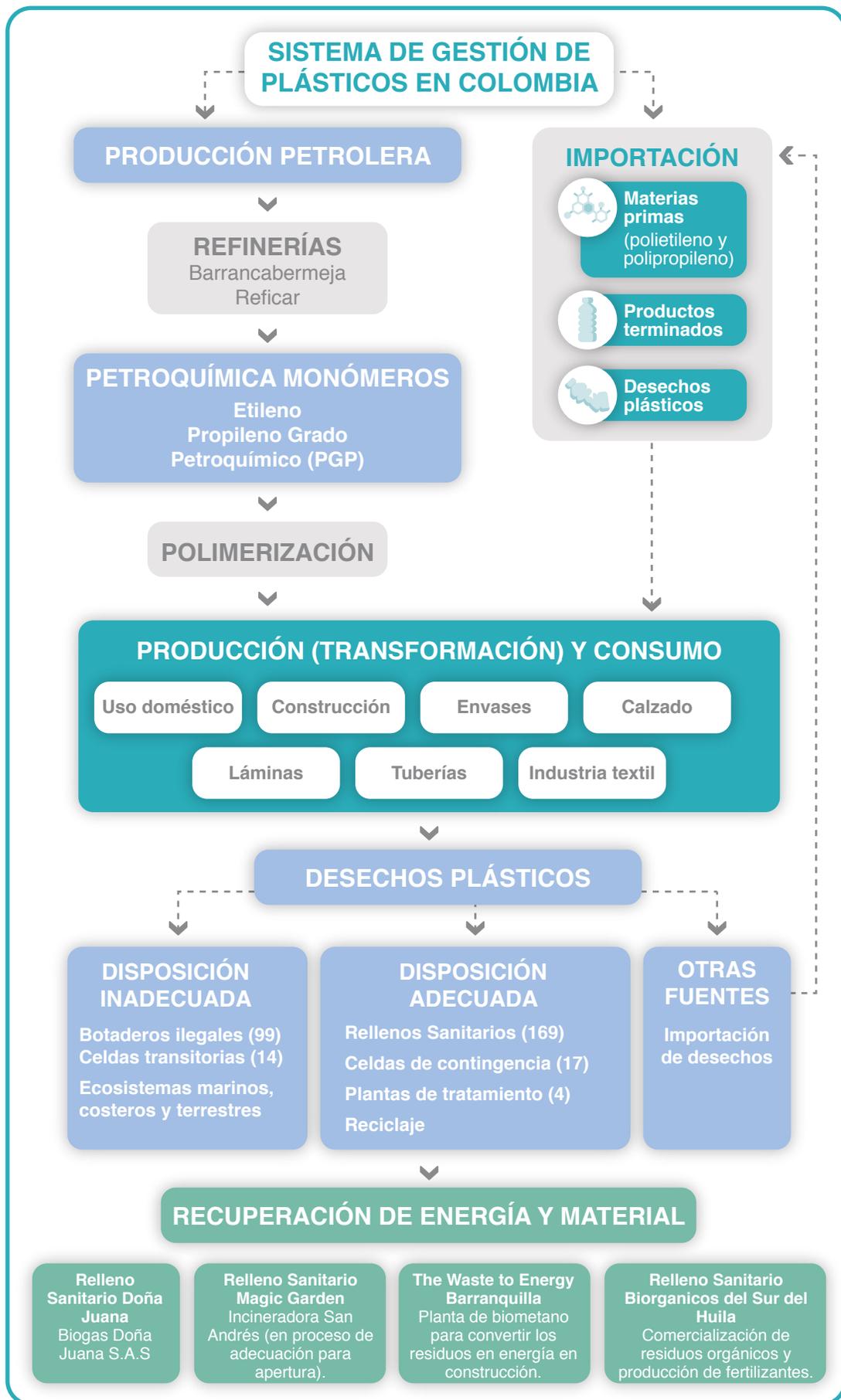


Figura 17 - Sistema de gestión de los plásticos en Colombia (Fuente: Elaboración propia, a partir de información consultada para esta investigación)

3.3.4. Normativas y políticas regionales para la gestión de los desechos plásticos

En la última década, Colombia ha avanzado respecto a la legislación sobre el plástico y los desechos. En diferentes ciudades y departamentos se han tomado medidas para gestionar la contaminación y prohibir la utilización de algunos productos plásticos de un solo uso. Además de normas legislativas, se han emitido otras disposiciones de política pública recientemente, como la vinculación al Acuerdo Mundial del Plástico (2019) y la Declaración Presidencial Sobre la Gestión Sostenible de los Plásticos (durante la XIV Cumbre de la Alianza del Pacífico, en el 2019).

Otros instrumentos de gestión son el Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de un Solo Uso del 2019, impulsado por el Ministerio de Ambiente y la Guía Metodológica sobre Disposición de Residuos en la Coyuntura del Coronavirus del 2020, en respuesta al incremento en el uso de plásticos de un solo uso producto de la pandemia.

Adicionalmente, en enero del 2021 entró en vigor la Regulación 2184 (2019), la cual establece el código de colores blanco, negro y verde para la separación de residuos en la fuente. Este es un avance importante para incrementar las tasas de reciclaje y evitar las pérdidas de materiales de valor, además de dignificar el trabajo de los recicladores y contribuir a una disminución en los desechos que llegan a los rellenos sanitarios del país, que ya se encuentran colapsados.

Sin embargo, el marco normativo actual de Colombia muestra no ser eficaz para el manejo de la contaminación por plásticos de un solo uso. Si bien se han impulsado distintas iniciativas a esta problemática, no se han derivado de allí esfuerzos específicos y sistemáticos para regular esta materia de forma integral. El marco jurídico se ha concentrado en la prestación del servicio público de aseo, la gestión de residuos sólidos, desincentivar el consumo y prohibir localmente el EPS y otros plásticos de un solo uso, y en el fortalecimiento de esquemas de economía circular y reciclaje.

El resultado es un engranaje jurídico-institucional disperso y desarticulado. Además, la fórmula gubernamental no ha diseñado acciones dirigidas a prevenir la generación de residuos. En suma, las políticas diseñadas para proteger los espacios marino-costeros se han planteado de forma independiente a este cuadro normativo, por lo que no definen acciones que mitiguen la contaminación marina plástica.

Incluso, instrumentos de política pública como el mencionado Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de un Solo Uso, impulsado por Ministerio de Ambiente, presenta limitaciones para abordar la problemática. En un Informe de recomendaciones, Fundación MarViva recalcó que el Plan se concentra solo en promover el reciclaje del plástico, no prohíbe materiales sumamente desechables como el EPS, promueve la sustitución de los plásticos de un solo uso por plásticos de origen biológico (no compostables en condiciones naturales) y no exige un aumento en la responsabilidad extendida del productor.

3.4. Movimientos transfronterizos de los desechos plásticos en Costa Rica, Panamá y Colombia



Costa Rica, Panamá y Colombia exportan e importan desechos plásticos. Los datos correspondientes a la partida arancelaria 3915, en la que se incluyen los desechos, desperdicios y recortes de plástico, indican que entre el 2015 y el 2019, Colombia fue el país que importó más desechos, seguido en orden por Costa Rica y Panamá (Figura 18). En cuanto a exportación, Costa Rica lidera la lista, seguida por Colombia y luego Panamá (Figura 19).

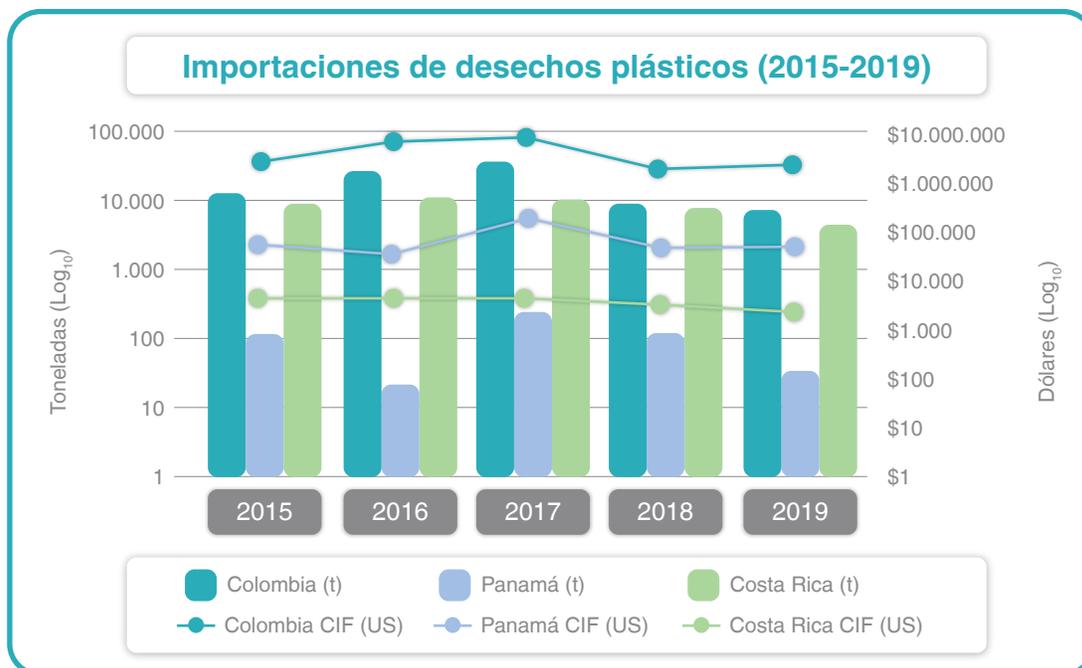


Figura 18 -

Importaciones de desechos plásticos de Costa Rica (CR), Panamá (PAN) y Colombia (COL) en toneladas (t) y su precio en dólares facturados (FOB), en la escala logarítmica decimal (Log_{10}) (Fuente: PROCOMER, 2020; INEC, 2020 y DIAN, 2020).

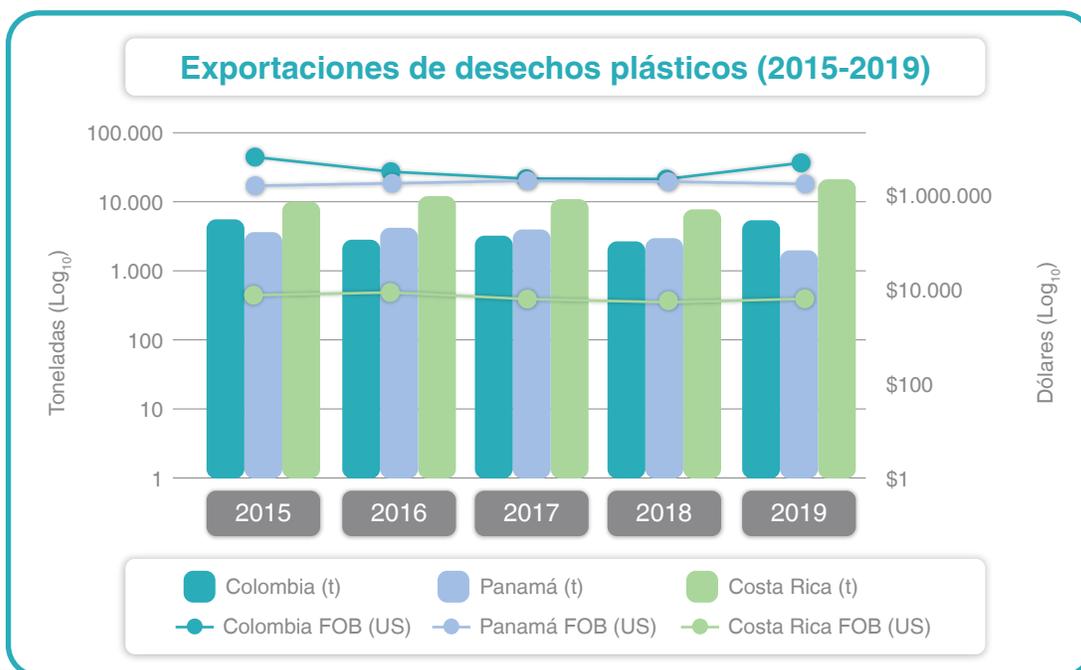


Figura 19 - Exportaciones de desechos plásticos hacia Costa Rica (CR), Panamá (PAN) y Colombia (COL) en toneladas (t) y su precio en dólares facturados (FOB), en la escala logarítmica decimal (Log_{10}) (Fuente: PROCOMER, 2020; INEC, 2020 y DIAN, 2020).

La partida arancelaria 3915 contempla las siguientes subpartidas: 391510 de polímeros de etileno, 391520 de polímeros de estireno, 391530 de polímeros de cloruro de vinilo y 391590 de los demás plásticos (Cuadro 3). En relación a la exportación e importación de plásticos de origen biológico en los países en estudio, a la fecha es imposible determinar flujos comerciales específicos, debido a que no existe una clasificación arancelaria particular para estos productos. Por lo tanto, los movimientos transfronterizos de plásticos de origen biológico, así como de sus desechos, se estarían reportando en partidas y subpartidas comunes a los plásticos de origen petroquímico.

En el caso de Costa Rica, según el Portal Estadístico de Comercio Exterior de PROCOMER, los productos clasificados como desechos, recortes y desperdicios de plástico importados entre 2015 y 2019 (partida arancelaria 3915), provienen principalmente de países centroamericanos como El Salvador, Guatemala y Panamá. La mayoría de estos desechos se clasificaron en subpartidas distintas a las que se deberían utilizar para clasificar desechos plásticos de un solo uso (391590) (Cuadro 3).

En cuanto a los desechos que podrían ser utilizados en la producción de plásticos de un solo uso, como los polímeros de etileno (subpartida 391520), estos representaron la mayor cantidad de importaciones, con una gran diferencia con respecto a los polímeros de estireno (Cuadro 3).

Cuadro 3 -

Cantidad (t) y valor (USD) promedio de desechos exportados desde Costa Rica e importados por el país entre el 2019 y el 2015, según la subpartida arancelaria (tipo) (Fuente: Procomer, 2020)

SUBPARTIDA (N°)	DESECHOS, RECORTES Y DESPERDICIOS DE:	EXPORTACIÓN (t)	EXPORTACIÓN (FOB – USD)	IMPORTACIÓN (t)	IMPORTACIÓN (CIF – USD)
391510	Polímeros de etileno	1.375,63	558,65	1.743,55	807,90
391520*	Polímeros de estireno	20,30	1,26	376,89	346,32
391530	Cloruro de vinilo	449,87	354,83	1.395,59	889,71
391590	Demás plásticos	10.564,77	3.222,88	4.290,67	1.101,03

*Solamente se reportaron datos en el 2017.

En el caso de Panamá, según el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) en 2019 los residuos plásticos clasificados en la subpartida 391590 (demás plásticos) se exportaron a Bélgica, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, los Estados Unidos, Honduras, Nicaragua, Paraguay, Perú y República Dominicana, por un valor total de USD 427.831. Por su parte, los residuos clasificados como polímeros de etileno, usados para hacer bolsas plásticas y envases, se exportaron a Bélgica y Costa Rica, por un total de USD 359.226 (subpartida 391510) (Cuadro 4).

Esta información permite apreciar que Panamá importa más desechos plásticos de los que exporta, y en cada una de las proporciones, tanto en las importaciones como en las exportaciones, lo que más se mueven son los productos diferentes al etileno, estireno y cloruro de vinilo (Cuadro 4).

Cuadro 4 -

Cantidad (t) y valor (USD) promedio de desechos exportados desde y hacia Panamá entre el 2019 y el 2015, según la subpartida arancelaria (tipo) (Fuente: Recomex, 2020)

SUBPARTIDA (N°)	DESECHOS, RECORTES Y DESPERDICIOS DE:	EXPORTACIÓN (t)	EXPORTACIÓN (FOB – USD)	IMPORTACIÓN (t)	IMPORTACIÓN (CIF -USD)
391510	Polímeros de etileno	883,4	315.459	23,2	20.341,4
391530*	Cloruro de vinilo	10	3.959	37	106
391590	Demás plásticos	2.545.2	555.559	68,8	39.504

*Solamente se reportaron datos en el 2018.

En el caso de Colombia, según las subpartidas arancelarias para desechos de plástico, los residuos más importados entre el 2015 y el 2019 fueron los polímeros de etileno, que se asume podrían estar destinados a la elaboración de plásticos de un solo uso, pues Colombia cuenta con una industria productora de resinas (Cuadro 5).

En 2019, la importación de desechos plásticos en general provino de 14 países: Aruba, Australia, Chile, China, los Estados Unidos, Honduras, Israel, Italia, México, Panamá, Portugal, Puerto Rico, Uruguay y Venezuela (Cuadro 5).

Cuadro 5 - Cantidad (t) y valor (USD) promedio de desechos exportados desde y hacia Colombia entre el 2019 y el 2015, según la subpartida arancelaria (tipo) (Fuente: DIAN, 2020)

SUBPARTIDA (N°)	DESECHOS, RECORTES Y DESPERDICIOS DE:	EXPORTACIÓN (t)	EXPORTACIÓN (FOB – USD)	IMPORTACIÓN (t)	IMPORTACIÓN (CIF -USD)
391510	Polímeros de etileno	1.158,2	212.877,18	11.388,87	1.372.049,76
391520	Polímeros de estireno	77.923,20	201.556,99	1.296,81	1.202.184,6
391530	Cloruro de vinilo	156,77	186.787,21	1.312,08	224.904,12
391590	Demás plásticos	1.465,86	1.167.088,71	2.521,30	879.407,8

Aunque no es posible determinar el destino y uso final de estos movimientos transfronterizos, se debe resaltar que la exportación de desechos plásticos a países sin las posibilidades de gestionarlos es una realidad cada vez más común en la región latinoamericana. Esto ha llamado la atención de las autoridades internacionales y ha fundamentado el inicio de las regulaciones globales para prevenir estas situaciones, tal como es el caso de los cambios acordados en el Convenio de Basilea en el 2019.

En este contexto, el aumento en el comercio ilícito de desechos plásticos guarda relación con las limitaciones que ciertos países han implementando, tanto en el marco de los cambios impuestos por el Convenio de Basilea, como previos a su entrada a vigor. En especial, las restricciones de importación de China, amparadas en nuevas normas de contaminación para la importación de 24 tipos de residuos sólidos, que se ampliaron a un total de 32 en enero de 2019. China ha establecido normas de contaminación mucho más estrictas para los desechos de plástico, pasando de una pureza del 90 y 95 % al 99,5 %. Estos límites han hecho que incluso los materiales pequeños, como las botellas de agua, no puedan ser exportados a dicho país (Interpol, 2020). Por ello, en los últimos dos años, se ha señalado un aumento considerable de los traslados ilícitos de residuos, principalmente desviados al Sureste Asiático, a través de muchos países de tránsito para camuflar el origen del envío. Este es un tema de estudio y análisis en los países analizados y deberá estar sujeto a regulaciones (Interpol, 2020).



4

Contaminación por plásticos en la región de Costa Rica, Panamá y Colombia

4.1. Aproximación de la afectación del plástico en el ambiente en cada una de las etapas del ciclo de vida

El plástico impacta el ambiente a lo largo de todo su ciclo de vida, comenzando desde la extracción de la materia prima (hidrocarburos o biomasa), pasando por la producción, seguido durante su consumo, la mala disposición de residuos posconsumo y su consecuente efecto en los ecosistemas marinos y terrestres (de Souza et al., 2018; The Pew Charitable Trust, 2020). Solamente la producción e incineración de plásticos puede generar anualmente 850 millones de t de gases de efecto invernadero, incluyendo el consumo de energía para extraer los combustibles fósiles y las emisiones por deforestación de las áreas donde se llevan a cabo la exploración y la explotación (Kistler y Muffett, 2019).

Adicionalmente, para que los plásticos puedan mantener sus características de durabilidad y flexibilidad, en su proceso de fabricación se incluyen aditivos como carbono, sílice, estabilizadores térmicos, plastificantes, retardadores de llama, estabilizadores UV, colorantes, agentes matificantes, opacificantes o aditivos de brillo (Hahladakis et al., 2018; Landrigan et al., 2020), muchos considerados como peligrosos para la salud humana (HEAL, 2020) (Cuadro 1). Por ejemplo, los tintes sintéticos están clasificados como mutágenos y carcinógenos (Koch y Calafat, 2009; Turner, 2018; Landrigan et al., 2020). De los 906 productos químicos asociados a los envases plásticos, presentes desde la fabricación y/o en las manufacturas finales, 63 se encuentran clasificados como altamente peligrosos para la salud humana y 68 como peligrosos para el ambiente, según la Agencia Europea de Sustancias Químicas. Por su parte, la Unión Europea clasifica siete aditivos como persistentes, bioacumulativos y tóxicos y 15 como sustancias químicas disruptoras endocrinas, que dañan la función hormonal de los organismos (Keswani et al., 2016; Wright y Kelly, 2017).

El Grupo Mixto de Expertos sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino (GESAMP) de la ONU, unifica la clasificación de los plásticos contaminantes y/o sus fragmentos según el tamaño (Cuadro 6). Los microplásticos (< 5 mm) son reconocidos por su amplia presencia tanto en los ecosistemas marinos como en los terrestres. Estos pueden proceder de fuentes directas, como artículos de cuidado personal y microfibras que se desprenden de los textiles o fuentes indirectas, como la fragmentación de plásticos de mayor tamaño.

Cuadro 6 - Contaminantes plásticos según su tamaño (Fuente: GESAMP, 2019)

CLASE	TAMAÑO
Megaplásticos	> 1 m
Macroplásticos	25 – 1000 mm
Mesoplásticos	5 – 25 mm
Microplásticos	< 5 mm
Nanoplásticos	< 1 μ m

En el océano, los tres polímeros que se encuentran en mayores cantidades y que, a su vez, son los de mayor producción a nivel mundial, son el PP, PE, EPS, los cuales se distribuyen según su densidad. Por ejemplo, los microplásticos de PP y PE flotan en la superficie del océano, mientras que los de EPS se pueden encontrar a diferentes profundidades, provocando contaminación en toda la columna de agua y acumulándose principalmente en el sedimento marino. Cabe aclarar que estas acumulaciones no son homogéneas y dependen también de las variaciones de salinidad y temperatura que determinan el flujo de las corrientes (Kooi et al., 2016; Rochman, 2018; Guo y Wang, 2019; Thushari y Senevirathna, 2020).

Los plásticos permanecen intactos en el ambiente, especialmente si se encuentran en el fondo marino o enterrados en el sedimento. Sin embargo, cuando se exponen a factores ambientales como radiación UV, oxígeno y oleaje, comienzan los procesos de fragmentación en micropartículas, lo cual es solo el inicio de una degradación que puede tomar entre cientos y un número indeterminado de años (Eriksen et al., 2014; GESAMP, 2019). Los aditivos de los plásticos se liberan al medio (Walkinshaw et al., 2020), constituyendo una grave amenaza para la vida acuática, dado que además de facilitar la absorción de otros contaminantes orgánicos persistentes (COP), también los pueden liberar, alterando químicamente los ecosistemas e, incluso, ingresando a la red alimenticia al ser ingeridos por peces y otros organismos que, a su vez, pueden transferirlos a los humanos (Andrady, 2017; Hahladakis et al., 2018; Cox et al., 2019; Landrigan et al., 2020).

Aunque los estudios sobre el plástico en los ecosistemas terrestres son limitados, se sabe que los microplásticos están presentes en los suelos, en el polvo urbano e incluso en la atmósfera, alterando la calidad del aire. Por su parte, los macroplásticos afectan aves, reptiles y mamíferos que, al igual que los animales marinos, pueden ingerirlos o enredarse en ellos. Observaciones en cuervos americanos mostraron que estas aves utilizan los plásticos para construir sus nidos, provocando que cuando los polluelos intentan comenzar a volar se enreden y mueran (Craggs, 2018). Por otro lado, en los Emiratos Árabes se ha registrado la muerte de camellos que, atraídos por el olor de los residuos de comida, han ingerido bolsas plásticas y cuerdas que les causan obstrucción intestinal (Townsend y Barker, 2014; Hurley et al., 2020; Eriksen et al., 2021).

Se estima que los seres humanos pueden estar consumiendo el equivalente a una tarjeta de crédito plástica cada semana (5 gramos), por medio de los microplásticos presentes tanto en el agua en botella, como en el agua de grifo, en la cerveza y en la sal (WWF, 2019b). Incluso, desde la infancia, se ha establecido que los bebés están expuestos a 16.200.000 partículas de plástico por litro que se liberan de los biberones (Li et al., 2020). Igualmente, los niños pueden inhalar o comer plásticos y sus químicos directamente de los juguetes, empaques o del aire, lo que genera inflamación intestinal crónica, entre otras enfermedades (Newell et al., 2000; Waring et al., 2018; Aurisano et al., 2021). Además de los químicos que se transfieren de estos materiales, las evidencias indican que las micropartículas de plásticos son capaces de atravesar las paredes intestinales y ser transportadas a órganos como el hígado, los pulmones, el bazo, los riñones e incluso la placenta de las gestantes (Paul et al., 2020; Thompson, 2020; Ragusa et al., 2021).

Los plásticos que se depositan en los rellenos sanitarios contribuyen a la acumulación de carcinógenos y toxinas que allí se producen, con el potencial de contaminar fuentes cercanas de agua y de afectar animales y personas que se encuentren en zonas aledañas (Craggs, 2018). Experimentos realizados en suelos muestran que los microplásticos podrían alterar propiedades físicas, como la retención del agua, así como provocar cambios en las funciones de la microbiota⁴ (de Souza et al., 2018). Algunos artrópodos terrestres, como los colémbolos, han sido observados transportando partículas de plástico a capas inferiores del suelo, lo cual podría contribuir con la acumulación de microplásticos y su posterior incorporación a la red alimentaria del suelo. Otro factor que contribuye a la transferencia directa a

4 Conjunto de microorganismos que se localizan de manera normal en distintos sitios del cuerpo de los seres vivos pluricelulares, tales como el cuerpo humano.

los ecosistemas terrestres resulta de los plásticos que se utilizan para cubrir los cultivos con el objetivo de mejorar su productividad, lo cual se evidencia en las altas concentraciones de estas partículas en los suelos para la agricultura (Cajamar, s.f.; Maaß et al., 2017; Zhang y Liu, 2018).

Se observa entonces que, desde la producción hasta la disposición posconsumo, los plásticos afectan notablemente los ambientes marinos y terrestres, poniendo en riesgo la salud de los animales y las personas que dependen de los servicios (agua, aire, alimentación, etc.), que suministran estos ecosistemas. Adicionalmente, los aditivos que contienen estos polímeros afectan directamente a los consumidores de plásticos, al exponerlos a materiales que tienen contacto directo con los alimentos o con la boca (p. ej. juguetes).

4.2. Contaminación marina por plástico: distribución y zonas de acumulación



En la región de Centroamérica y Suramérica, se localizan ocho de los 122 ríos que más contaminan con plásticos a nivel mundial (Lebreton et al., 2017; USAID, 2019). Estos ríos desembocan en el océano Pacífico y el mar Caribe, siendo un factor estresante en las costas e islas de América Central y del Sur. Un ejemplo es la acumulación de basura que se forma periódicamente en la Bahía de Omoa, en aguas del Caribe compartidas entre Honduras y Guatemala, produciendo mareas artificiales cargadas de basura plástica (p. ej. cepillos de dientes, recipientes, jeringas, muñecos de acción, entre otros). Los desechos son arrastrados por el río Motagua, uno de los más grandes de Centroamérica, que recoge las aguas de un afluente que proviene del vertedero municipal de Ciudad de Guatemala. Esta acumulación de desechos en el mar ha provocado incluso, conflictos entre los dos países (Urry, 2019; USAID, 2019; Lima, 2020).

Los plásticos son el mayor componente de desechos acumulados en playas del Pacífico, del Caribe y en la Isla del Coco, en Costa Rica (Blanco, 2010). Un estudio del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), de la UCR, evidenció la presencia de microplásticos en playas tanto del Pacífico como del Caribe costarricense, representados principalmente por PE y EPS (El Mundo, 2019a), con una mayor concentración contaminante en el Pacífico (Teletica Radio, 2019).

Además, Costa Rica es conocida por poseer la cuenca más contaminada de toda Centroamérica, del Río Grande de Tárcos, en la que se vierten diariamente grandes cantidades de toneladas de residuos provenientes de su Gran Área Metropolitana (GAM). El impacto puede apreciarse en playas como Guacalillo, playa Azul y playa Tárcos, zonas de influencia de la desembocadura del río donde se acumula una gran cantidad de residuos sólidos. Por semana, en estas playas se recolectan 15 t de desechos entre llantas, zapatos, plástico, refrigeradoras, lavadoras y hasta cilindros de gas (Grajales, 2018). A ello, contribuye el crecimiento desordenado de la urbe, la destrucción de los manglares y la acción de arrojar basura en cunetas y lugares conectados con los ríos, que transportan los desechos domésticos e industriales (Urriola, 2018).

En Panamá, el impacto de la contaminación por plásticos y otros desechos es claramente visible en la Bahía de Panamá, donde se encuentran grandes cantidades de botellas, latas y hasta colchones, que se apilan en sectores como Costa del Este (EFE, 2018b). Allí mismo desembocan cuatro ríos, que recorren toda la ciudad arrastrando todo tipo de residuos, como son el Curundú, Matasnillo, Juan Díaz y Tapia (EFE, 2018a). Por otro lado, estudios específicos realizados en el litoral Caribe de Panamá detectaron concentraciones de hasta 385 microplásticos/metro cuadrado (m²) de playa, en zonas importantes para el turismo (Feldberg, 2018; Delvalle et al., 2020; Ministerio de Ambiente de Panamá, 2020), entre ellos, predominaron los pellets, material utilizado por las fábricas como materia prima para producir botellas y bolsas de plástico, que pueden ser de polipropileno o polietileno. Por su parte, en el Pacífico, aunque hubo una homogeneidad entre las formas encontradas (pellets, fragmentos, espumas), el EPS fue uno de los plásticos con mayor presencia física (RFI, 2019; Delvalle et al., 2020).

Los afluentes más importantes de Colombia son también dos de los 20 ríos más contaminados con plástico en el planeta: el Río Amazonas, en el puesto siete, y el Río Magdalena, la principal arteria fluvial del país, que ocupa el decimoquinto lugar de contribución a la contaminación por desechos plásticos al mar (Lebreton et al., 2017). Además, el turismo y la mala gestión de los residuos están asociados con el gran incremento de desechos plásticos en las playas (Acosta y Olivero-Verbel, 2015; Acosta-Coley et al., 2019; Garcés-Ordóñez et al., 2019; 2020).

La contaminación por plásticos ha sido estudiada en el país en ecosistemas sensibles como manglares, complejos lagunares como la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) y en la mayoría de las zonas costeras (Ambientum, 2018; Garcés-Ordóñez et al., 2020). En la CGSM el plástico representa entre el 73 y el 96 % de los residuos sólidos, mientras que la presencia de microplásticos en sedimentos asociados al manglar oscila entre 31 y 2.863 partículas/kg de desechos (Garcés-Ordóñez et al., 2019). Las mayores concentraciones de microplásticos se encuentran en el Caribe, principalmente en las zonas con mayor densidad poblacional como Cartagena y Santa Marta. Tanto en las costas del Caribe como en las del Pacífico de Colombia es posible encontrar hasta 8.000 microplásticos/litro de agua y 1.000 microplásticos/m² de playa (Delvalle et al., 2020).

4.3. Impactos biológicos de los desechos plásticos en el mar

Los impactos causados por los plásticos en los ecosistemas marinos están relacionados con eventos de enredo, ingesta y asfixia (Figura 20), alcanzando desde microorganismos hasta grandes cetáceos, lo que hace urgente la toma de medidas de gestión eficaces para mitigarlos. Se han documentado afectaciones por plásticos en más de 800 especies de animales marinos, muchas de ellas únicas o endémicas de ciertas áreas o que figuran como especies amenazadas de extinción (Kühn et al., 2015; Steer y Thompson, 2020; The Pew Charitable Trust, 2020). Se han registrado desde estrangulaciones de lobos finos antárticos que no logran liberarse después de quedar enredados (Waluda y Staniland, 2013; Waring et al., 2018), hasta sofocación de corales por bolsas y láminas de plástico que impiden la captación de luz (Landrigan et al., 2020; Reichert et al., 2018).

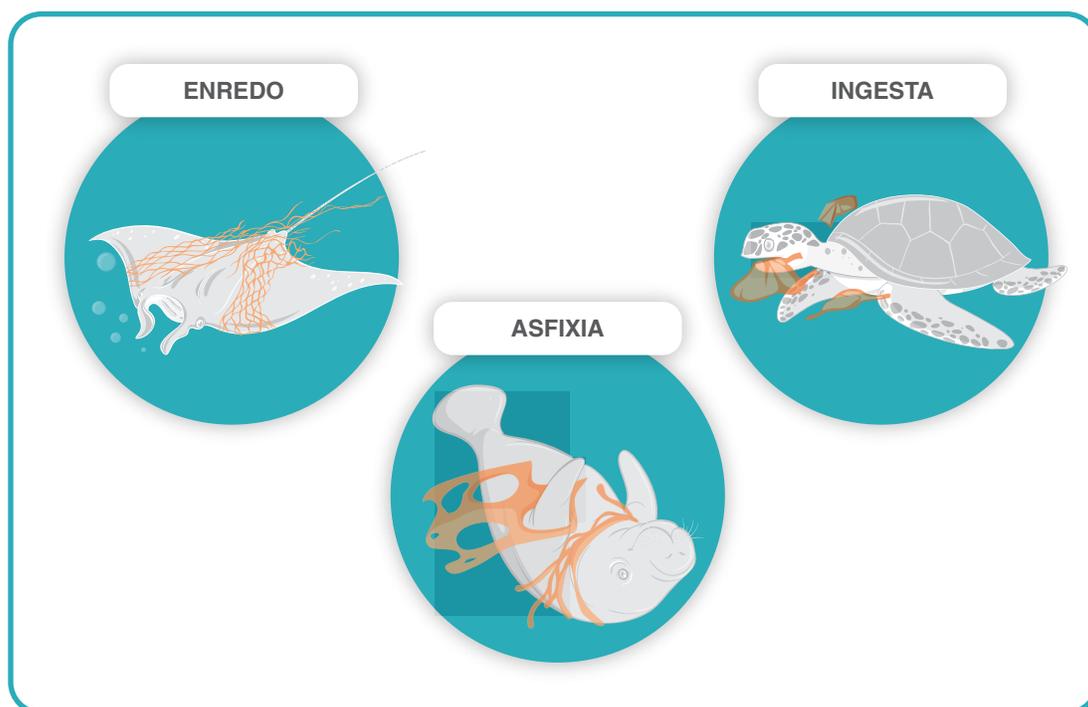


Figura 20 - Impactos causados por los plásticos en la fauna marina (Fuente: Kühn et al., 2015; Steer y Thompson, 2020; The Pew Charitable Trust, 2020)

También se conocen los casos de ingesta o de enredamiento en un 54 % de las 120 especies de mamíferos marinos que figuran como amenazados por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Así mismo, se han documentado enredamientos con plástico en todas las 350 especies de aves marinas existentes, así como en las siete especies de tortugas marinas, 89 especies de peces y 92 de invertebrados (Kühn et al., 2015; Ryan, 2018; Steer y Thompson, 2020).

Respecto a la ingesta de plásticos, los organismos pueden ingerirlos de dos formas: cuando se alimentan en el entorno natural y los consumen de forma accidental, o por transferencia trófica, al alimentarse de otros animales que han ingerido plásticos.



Figura 21 - Número de especies afectadas por enredamientos con plástico (Fuente: Kühn et al., 2015; Ryan, 2018; Steer y Thompson, 2020)

Adicionalmente, en el caso de los peces y crustáceos, los microplásticos pueden ingresar a su organismo por medio de las branquias. El tipo y tamaño del polímero determinan la profundidad a la que se encuentran, facilitando la disponibilidad y selectividad para diversos organismos en la columna de agua. Por ejemplo, las ostras pueden consumir partículas más grandes que los mejillones, lo que explica las distintas cantidades de plástico acumuladas internamente en dichas especies (Watts et al., 2014; Desforges et al., 2015; Carbery et al., 2018; Nelms et al., 2018; Welden et al., 2018; Karbalaei et al., 2019; Walkinshaw et al., 2020). Es probable que los organismos que habitan en aguas superficiales encuentren plásticos con una densidad específica menor que la del agua de mar, como el PS, el PP y el PE. Por el contrario, los organismos del fondo o bentónicos son más susceptibles a ingerir plásticos más densos o sucios, como el PET y el PVC (Cole et al., 2013; Carbery et al., 2018).

Los plásticos pueden ser ingeridos accidentalmente por las grandes ballenas e, incluso, enredarse en sus estructuras de filtración o barbas (Alzugaray et al., 2020; Im et al., 2020). También, se han encontrado plásticos en los estómagos de tiburones azules y otros escualos oceánicos, así como de tortugas marinas. Algunas especies de estas últimas suelen confundir las bolsas de plástico con una de sus presas, las medusas. Estas ingestiones pueden provocar una falsa sensación de llenura, que conduce a los animales a un lento proceso que culmina con la muerte por inanición (falta de alimentos) o por obstrucción intestinal (Colmenero et al., 2017; Pham et al., 2017; Caron et al., 2018; Waring et al., 2018; Barreto et al., 2019; Mucientes y Queiroz, 2019).

Las aves marinas suelen confundir su alimento con contaminantes plásticos que adquieren el aroma de químicos naturales, como el sulfuro de dimetilo, cuando están en contacto con el agua, creando una trampa olfativa para las aves que buscan alimento. Se considera que un 44 % de las especies de aves marinas ha ingerido partículas plásticas (Savoca et al., 2016; Roman et al., 2019; The Pew Charitable Trust, 2020). Algunas especies de grandes dimensiones, como los albatros, han llegado a ingerir artículos de plásticos como pelotas de golf, encendedores e incluso botellas enteras (Cartraud et al., 2019; Roman et al., 2019; Petsko, 2020; Vale, 2020).

La ingestión de partículas más pequeñas (< 5 mm), como los micro y nanoplásticos, está mayormente documentada en organismos invertebrados que hacen parte del zooplancton, como copépodos, isópodos, anfípodos y poliquetos, así como en esponjas, insectos pelágicos, gusanos marinos y pulgas de mar (Goldstein et al., 2012; von Moos et al., 2012; Cole et al., 2013; Hämer et al., 2014; Cole et al., 2015; Baird, 2016; Jemec et al., 2016; Bruck y Ford, 2017; Hurley et al., 2017; Jang et al., 2018; Reichert et al., 2018).

La transferencia trófica (cadena alimentaria) de un animal a otro se ha detectado desde mejillones hasta peces y cangrejos (Farrell y Nelson, 2013; Watts et al., 2014; Santana et al., 2017; Carbery et al., 2018). Se ha podido establecer que los plásticos pueden pasar de peces como la caballa del Atlántico a las focas grises (Nelms et al., 2018). Igualmente, los plásticos pasan de los pastos marinos y algas a moluscos, como el caracol de las rocas o caracoles del género *Littorina* (Gutow et al., 2015; Goss et al., 2018; Sundbæk et al., 2018; Walkinshaw et al., 2020) y a organismos detritívoros que consumen las heces de otros animales que han ingerido plástico, como los copépodos (Cole et al., 2015; Walkinshaw et al., 2020).

Carbery et al. (2018) desarrollaron un modelo de la red alimenticia marina, donde se muestra la cantidad, el tamaño y la forma de los microplásticos presentes en organismos encontrados en la naturaleza, reflejando la ingestión de polímeros en todos los niveles tróficos.

En todas sus formas y tamaños, la ingestión de plásticos tiene serias repercusiones en los organismos acuáticos, afectando su biología (Arias-Andres et al., 2019; Franzellitti et al., 2019) y activando un conjunto de mecanismos de reacción que incluyen: i) estrés oxidativo⁵ (Jacobsen et al., 2010; Neves et al., 2015; Lu et al., 2016; Magara et al., 2018; Wang et al., 2019), ii) inflamación (Wright et al., 2013), iii) aumento de la actividad inmune (Browne et al., 2008), iv) reducción en la actividad de alimentación (Cole et al., 2013; Wright et al., 2013; Watts et al., 2014; Cole et al., 2015), v) agotamiento de las reservas de energía (Wright et al., 2013; Watts et al., 2014), vi) impactos significativos en la descendencia (Sussarellu et al., 2016; Landrigan et al., 2020) y vii) mortalidad de los individuos expuestos (Oliveira et al., 2013; Landrigan et al., 2020) (Figura 22).

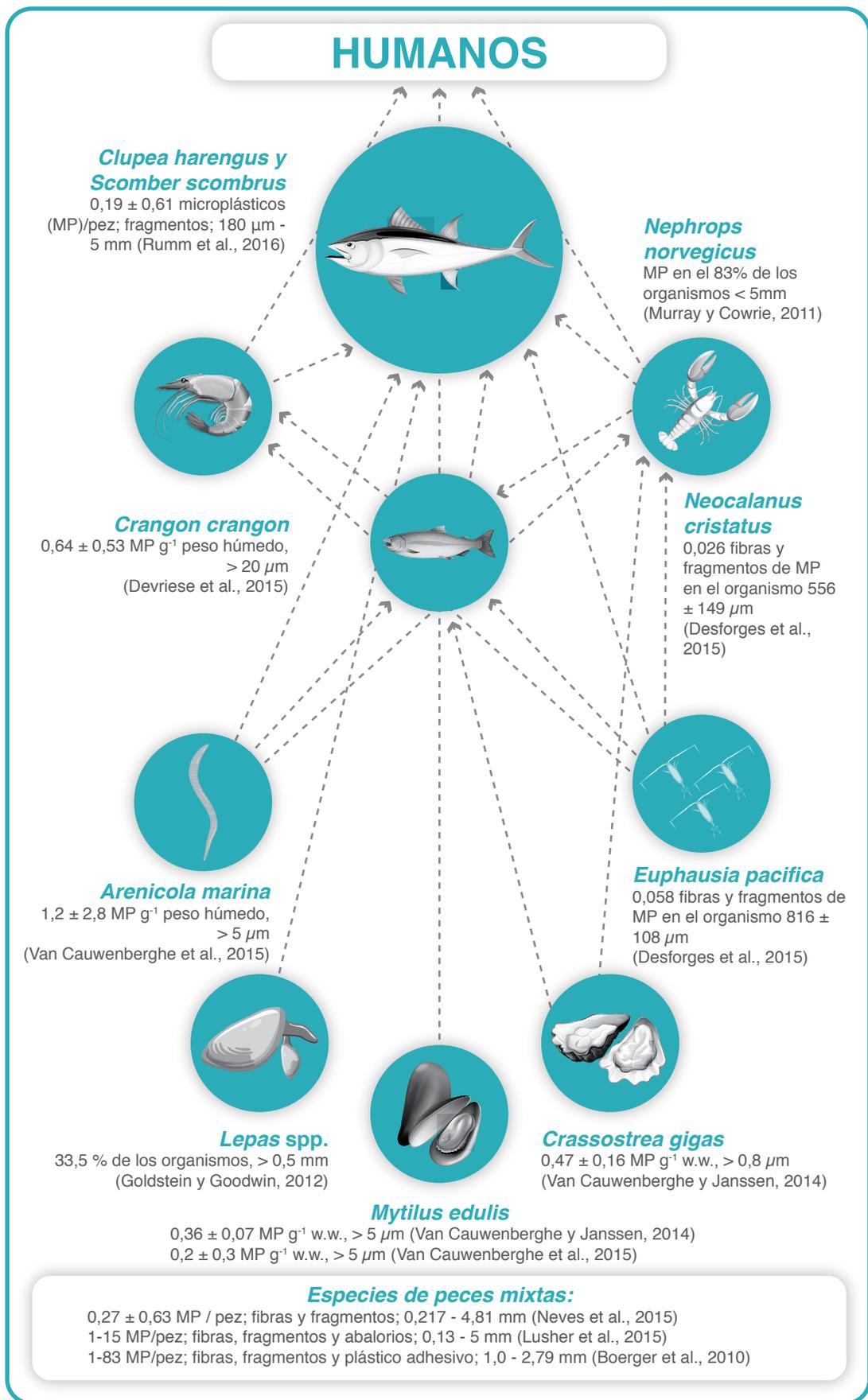


Figura 22 -

Modelo de red trófica marina, que indica la carga, el tamaño y la forma de los microplásticos presentes en organismos a diferentes niveles tróficos presentes en el entorno natural (Fuente: Carbery et al., 2018)

Asimismo, los nanoplasticos (< 1 μm) son de particular preocupación, ya que su pequeño tamaño les permite penetrar las membranas. En el caso de las larvas del pez cebra, estas nanopartículas tienen la capacidad de traspasar la barrera hematoencefálica, que es un sistema que protege al cerebro de sustancias extrañas (Rabanel et al., 2020). Igualmente, se ha documentado que, en varias especies de invertebrados, los nanoplasticos ingeridos pueden ser trasladados a tejidos reproductivos y al cerebro (Crooks et al., 2019; Walkinshaw et al., 2020). Sin embargo, estos son más difíciles de detectar, ya que aún existen limitaciones en cuanto a equipos para muestreo y análisis (da Costa et al., 2016; Carbery et al., 2018).

Otro tipo de impacto biológico se genera a partir de los químicos liberados por los plásticos y sus aditivos. Pueden causar deformaciones en los organismos, como ha sido documentado para las larvas de los erizos de mar (Rendell-Bhatti et al., 2020), lo que podría significar un impacto negativo en las poblaciones de estos animales que juegan un papel muy relevante en el control de las algas. Igualmente, los lixiviados⁶ perjudican el crecimiento y la producción de oxígeno de una de las bacterias fotosintéticas más abundantes y ecológicamente importantes del océano, perteneciente al género *Prochlorococcus* (Figura 23; Tetu et al., 2019).



Figura 23 - Impacto biológico por químicos y aditivos plásticos (Fuente: Tetu et al., 2019)

Adicionalmente, los plásticos en el mar actúan como mecanismos de transporte para microorganismos peligrosos, vectores de enfermedades humanas y especies exóticas invasoras, conformando lo que se ha denominado como “Plastíferas”, una suerte de microsistemas biológicos que se desplazan sobre los plásticos a nuevas áreas, provocando enfermedades y eliminando de poblaciones que previamente no han estado expuestas a dichos organismos (Landrigan et al., 2020). Algunos

6 Líquido resultante de un proceso de percolación de un fluido a través de un sólido.

de los organismos patógenos que transportan incluyen *Vibrio* spp. (Keswani et al., 2016; Kirstein et al., 2016), *Escherichia coli*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Bacillus cereus* (van der Meulen et al., 2015) y *Aeromonas salmonicida* (Viršek et al., 2017; Barboza et al., 2018). Las altas concentraciones de desechos microplásticos en el giro subtropical del Pacífico Norte han provocado un aumento en las densidades de huevos del insecto pelágico *Halobates sericeus*, lo que podría resultar en la desaparición de las poblaciones de plancton de las que se alimenta (Goldstein et al., 2012; Walkinshaw et al., 2020), causando desbalances severos en el ecosistema.

Otro problema que se podría exacerbar por el transporte de microorganismos en los plásticos marinos es el de las afloraciones o mareas rojas de algas dinoflageladas tóxicas, que comúnmente causan intoxicación en los organismos que entran en contacto con ellas, provocando mortandades en peces, mamíferos y aves marinas e invertebrados. Los eventos de marea roja se han incrementado por el aumento en las temperaturas superficiales del mar provocado por el cambio climático. Algunos de los dinoflagelados responsables de mareas rojas son *Ostreopsis* spp., *Coolia* spp., *Alexandrium taylori*, *Alexandrium* spp. y *Alexandrium catanellaha* (Masó et al., 2003; Griffith y Gobler, 2020; Walkinshaw et al., 2020).

El estudio de los impactos biológicos de los plásticos en la región está aún en su fase inicial. Sin embargo, en Costa Rica se ha evaluado la ingesta por peces, encontrando plásticos en el tracto digestivo del marlín negro (*Istiompax indica*), del pez lanceta (*Alepisaurus ferox*) y de la sardina gallera (*Opisthonema libertate*). En esta última, se registró la ingestión de un total de 1.101 piezas de plásticos en 30 muestras examinadas (Blanco, 2010, 2019; Nuñez, 2019).

En Panamá, se realizó el primer experimento sobre formación de Plastíferas en el Caribe, comprobando el potencial de los plásticos para transportar microorganismos patógenos (Dudek et al., 2020), pero no se encontró mayor información sobre estudios relacionados con impactos biológicos del plástico en ese país.

En el mar Caribe de Colombia, el enfoque se ha concentrado en la ingesta de plásticos por peces marinos, principalmente en algunos crustáceos e invertebrados, como nematodos y el caracol pala (*Aliger gigas*) (Acosta-Coley et al., 2019; Hurtado et al., 2019; Garcés-Ordóñez, et al., 2020; El Tiempo, 2021). Por otra parte, en un estudio realizado en las Islas del Rosario, cerca de Cartagena, se encontró que los peces asociados al manglar ingieren más plástico que los asociados a arrecifes de coral. La misma diferenciación se encontró entre machos y hembras, donde estas últimas, por tener un mayor gasto energético, tienden a ingerir más plásticos (Martínez, 2020). Igualmente, se detectó la ingesta de plásticos en cuatro especies carnívoras de la CGSM, como la lisa *Mugil incilis*, el jurel *Caranx hippos*, la mojarra amarilla *Caquetaia kraussii* y la mojarra rayada *Eugerres plumieri* (Calderon et al., 2019), así como la presencia de microplásticos en las branquias de jaibas (*Callinectes sapidus*) en ese sistema laguno-estuarino (Hurtado et al., 2019). En la Bahía de Cispata se analizaron 22 especies, de las cuales ocho registraron ingestión de plásticos clasificados como filamentos (55 %), fragmentos (23 %), películas (19 %) y espumas (3 %) (Garcés-Ordóñez, et al., 2020).

Es importante mencionar que muchas de las especies afectadas por los plásticos sirven de alimento a los humanos o para otras especies que, a su vez, son consumidas por los humanos. Invertebrados como los copépodos y el krill constituyen una fuente de alimento para especies de importancia alimenticia para los humanos (Walkinshaw et al., 2020), como cangrejos, langostinos, camarones y almejas (Xu et al., 2016;

Gray y Weinstein, 2017; Cau et al., 2020; Horn et al., 2019; Piarulli et al., 2019; Renzi et al., 2020;). Ostras, mejillones y peces consumen microplásticos de manera directa (Calderon et al., 2019; Cho et al., 2019; Li et al., 2019; Teng et al., 2019; Garcés-Ordóñez et al., 2020; Walkinshaw et al., 2020) mostrando un impacto no solo en la red trófica marina, sino en la seguridad alimentaria de los consumidores de productos pesqueros.

Según lo expuesto para la región en estudio, los datos parecen indicar que los organismos asociados a ecosistemas de la zona costera, como los manglares, se encuentran ante una mayor disponibilidad de plásticos en sus ambientes, lo que incrementa la posibilidad de consumirlos. También, llama la atención que las hembras de ciertos peces consuman plásticos en mayor proporción que los machos, ya que podría tener repercusiones negativas en los procesos reproductivos y en la capacidad de las poblaciones para mantener números saludables.

4.4. Potenciales efectos de los desechos plásticos en la salud humana

El consumo directo de plástico marino por parte de los seres humanos está directamente relacionado con la ingesta de mariscos filtradores que, al alimentarse y respirar, consumen los microplásticos y nanoplásticos presentes en el agua (Barboza et al., 2018; Smith et al., 2018). Se ha concluido que la mayor exposición se da al ingerir animales completos como ostras, mejillones, almejas (Cole et al., 2013; Carbery et al., 2018). Por otro lado, la sal marina también facilita la ingesta de microplásticos. En España, en un kilogramo de sal se pueden encontrar entre 50 y 280 fibras, principalmente de PET, PP y PE. Y en China, se han encontrado de 550 a 681 fibras por kilogramo de sal, principalmente de EPS y PET (Iñiguez et al., 2017). Tales concentraciones pueden usarse como indicadores de las fuentes y niveles de contaminación de las zonas de extracción de sal marina.

Según WWF y un estudio realizado por la Universidad de Newcastle (Australia), los humanos consumen cerca de 100.000 micropartículas de plástico al año (Barboza et al., 2018; WWF, 2019b), de las cuales tenemos la capacidad de excretar hasta el 90 %. Sin embargo, otros estudios confirman que partículas aún más pequeñas o nanoplásticos, al ser ingeridos, pueden ser transportados por el sistema linfático y generalizar su presencia en otros tejidos del cuerpo humano (Barboza et al., 2018; Waring et al., 2018; Schwabl et al., 2019; Teles et al., 2020).

Los restos de microplásticos que quedan en el intestino pueden inducir toxicidad celular, detener los ciclos de las células e incluso, alterar las células del sistema inmune al inicio de las reacciones inflamatorias (Teles et al., 2020). Igualmente, los aditivos químicos de los plásticos, como el bisfenol A (BPA), prohibido en la mayoría de los países, pero presente en tejidos humanos (American Chemical Society, 2020), y los ftalatos, pueden alterar las funciones del sistema endocrino imitando, bloqueando o alterando las hormonas y glándulas como la tiroides (Smith

et al., 2018). Por su parte, los aditivos perfluorados, ampliamente utilizados para confeccionar los plásticos repelentes al agua, pueden causar daños irreversibles en la piel y efectos adversos sobre la función sexual de los adultos, lo que se conoce como toxicidad para la reproducción humana (Vilakati et al., 2020). Otros aditivos plásticos pueden reducir la fertilidad masculina, causar problemas en el desarrollo fetal, dañar el cerebro humano en desarrollo muchos años después del nacimiento y causar otros daños en el desarrollo neurológico (Smith et al., 2018; Landrigan et al., 2020). Aunque los efectos directos a largo plazo por ingestión de microplásticos siguen sin comprenderse claramente, se sospecha que pueden ser más severos de lo que se conoce en la actualidad (WWF, 2019b).

Los modelos (*in vitro*) de la absorción humana de nanopartículas indican que el tamaño y la forma de los nanoplásticos son variables importantes para determinar su afectación. Una vez que los nanoplásticos están en el epitelio⁷ intestinal pueden cruzar capas de tejido que tapizan las cavidades internas, entrando así en la circulación sistémica, logrando llegar a órganos importantes como el hígado, los pulmones, el bazo, el cerebro, el corazón y el riñón. Además, es probable que puedan cruzar la barrera hematoencefálica (un sistema que protege al cerebro de sustancias extrañas) (Waring et al., 2018; Teles et al., 2020). Por otro lado, la inflamación local inducida por nanoplásticos puede comprometer la funcionalidad de los procesos gastrointestinales y desencadenar alteraciones en las comunidades de microbiomas, que dan lugar a disbiosis o reactividad anormal del microbiota intestinal (Teles et al., 2020). Otro riesgo crítico es que las nanopartículas plásticas tienen la capacidad de interactuar con proteínas, lípidos y carbohidratos, lo cual se traduce en un fácil acceso a los mecanismos de intercambio que ocurren a través de la membrana celular y un potencial acceso a la célula (Teles et al., 2020).

Otro tipo de impactos externos directos también se ha registrado. La presencia de basura plástica puede resultar en enmallamiento de nadadores y buzos, o en heridas causadas por fragmentos de plástico con filo, adicionado a que la presencia de residuos en el agua interrumpe las operaciones de rescate en el mar, causando pérdida de vidas humanas (Abalansa et al., 2020).

En general, los desechos plásticos en el mar pueden aumentar el riesgo global de enfermedades humanas y animales, al convertirse en dispersores de patógenos y sus vectores, provocando contaminación e infecciones (Barboza et al., 2018; Keswani et al., 2016).

4.5. Impacto económico y social de la contaminación marina por plástico

La presencia de basura marina afecta el turismo, la recreación, la pesca y la productividad industrial al interrumpir funciones y servicios clave del ecosistema,

⁷ Tejido constituido por células íntimamente unidas, planas o prismáticas, que recubre la superficie externa del cuerpo y de ciertos órganos interiores.

incluso en puntos alejados del origen de la contaminación (Newman et al., 2015; Steer y Thompson, 2020). Los servicios ecosistémicos más impactados son el aprovisionamiento por pesca y la pérdida de apropiación relacionada con la desaparición de especies y la recreación (Beaumont et al., 2019).

El Panel de Alto Nivel para una Economía Oceánica Sostenible, iniciativa impulsada por Noruega desde el 2018, conformado por un grupo de países comprometidos a desarrollar, catalizar y apoyar soluciones para la salud y riqueza del océano en materias de política, gobernanza, tecnología y finanzas, estima que los efectos económicos negativos de los microplásticos en los océanos que reducen los servicios globales del ecosistema marino son de entre USD 0,5 a 2,5 millones anuales (Ministerio de Ambiente de Panamá, 2020). La afectación de los servicios ecosistémicos está directamente ligada con la pérdida de millones de empleos basados en las actividades marítimas (Abalansa et al., 2020). Además, pueden significar pérdidas de entre USD 15 millones y USD 17 millones por reparación de embarcaciones y tiempo de pesca perdido en la limpieza de aparejos (Steer y Thompson, 2020), así como pérdidas de ingresos económicos del turismo de entre USD 29 millones y USD 37 millones, debido a la presencia de desechos en playas después de la lluvia (Jang et al., 2014).

Las pérdidas económicas por desechar plásticos de un solo uso que podrían ser aprovechados equivalen a entre USD 80 mil millones y USD 120 mil millones por año (The Pew Charitable Trust, 2020). Por otro lado, se estima que el impacto de la contaminación marina por plásticos oscila entre 1 y 5 % de pérdida de servicios ecosistémicos marinos de entre USD 500 millones y USD 2.500 millones, que se pierden de capital natural cada año, sin contar otro tipo de impactos económicos y que, con las tasas actuales, se espera se incrementen (Beaumont et al., 2019). El costo global en gestión de residuos plásticos para los Estados, entre el 2021 y el 2040, se estima en USD 670 mil millones (The Pew Charitable Trust, 2020).



Miles de turistas visitan la región cada año. Río Celeste, Costa Rica © Shutterstock

5

Discusiones actuales

La evidente contaminación por plásticos que actualmente impacta al ambiente, está afectando a los sectores económicos que dependen de sus servicios (p. ej. turismo, transporte marítimo, pesca). En esta línea, los informes y denuncias generados por la sociedad civil respaldando la severidad de la problemática, han impulsado que los tratados internacionales como el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, así como el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, incluyan el manejo del plástico y sustancias derivadas (Basel Convention, 2019; Stockholm Convention, 2021).

Impulsado por Noruega y apoyado por una alianza de organizaciones globales #BreakFreeFromPlastics, de la cual Fundación MarViva forma parte, se han desarrollado propuestas para establecer un tratado internacional, similar al acuerdo de París sobre Cambio Climático (WWF et al., 2020), pero enfocado en la contaminación por plásticos. Recientemente, el Grupo de Expertos en Basura Marina de las Naciones Unidas presentó una recomendación que hace hincapié sobre esta propuesta de regulación global nueva, que se espera sea discutida en la V sesión de la Asamblea de la ONU, en febrero del 2022 (Ellen MacArthur Foundation, 2020; UNEP, 2020).

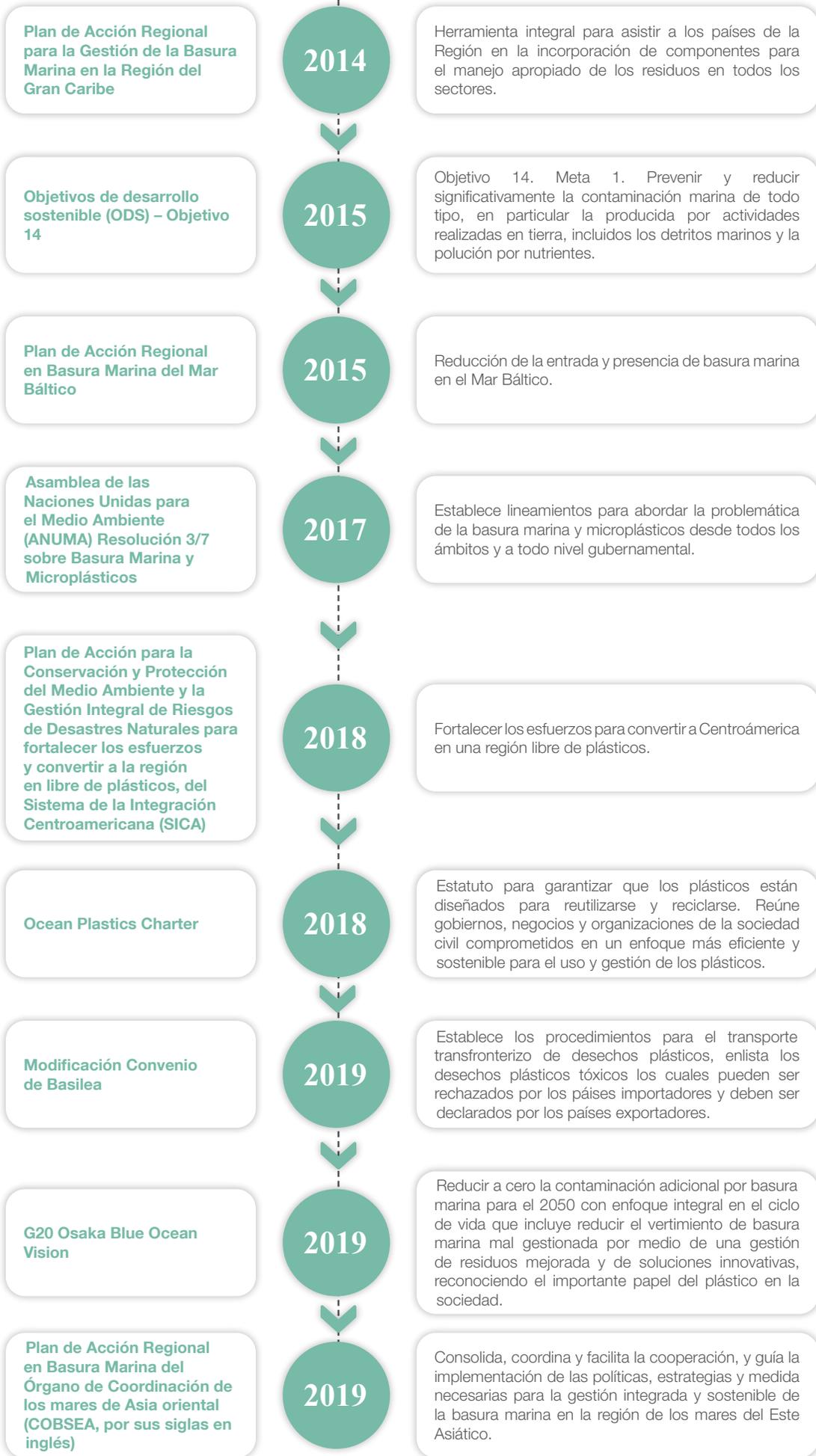
5.1. Regulaciones sobre los plásticos de un solo uso

5.1.1. Tratados e instrumentos internacionales

Aunque existen una serie de tratados internacionales e instrumentos que abordan el problema de la basura marina (Cuadro 7), un análisis de regulaciones vigentes hasta el 2019 indica que, a pesar de proporcionar lineamientos para abordar la problemática, muchos de los tratados no son legalmente vinculantes, por tanto carecen de fuerza legal para que las acciones se implementen en los países que los firman (Karasik et al., 2020). Esto se evidencia en el caso de las Metas de Aichi y el Plan Estratégico de Biodiversidad 2011-2020. Por ejemplo, la meta ocho tenía como objetivo reducir la contaminación debido al exceso de nutrientes, plaguicidas, plásticos y otros desechos para el 2020, pero a la fecha, aún no se ha cumplido y se requieren medidas que impidan una nueva “década perdida” para la biodiversidad y para el planeta (Berger, 2020).

Cuadro 7 - Instrumentos y tratados internacionales para abordar la contaminación por basura marina (Fuente: UNEP, 2019)

INSTRUMENTO	AÑO	PROPÓSITO
Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)	2004	Tomar medidas para eliminar o reducir la liberación de COP al medio ambiente.
Estrategia de Honolulu	2011	Marco mundial para la prevención y gestión de los desechos marinos.
Declaración de las Asociaciones Globales de Plásticos para Soluciones sobre Basura Marina	2011	Contribuir con soluciones, apoyar la investigación, promover la implementación de políticas, incrementar oportunidades de recuperación y vigilar el transporte y la distribución de pellets para prevenir pérdidas y contaminación marina por plásticos.
Cumbre de Río +20	2012	Dentro de su visión común hacia los plásticos: <ol style="list-style-type: none"> Preocupación que la salud de la biodiversidad de los océanos y los mares está afectada negativamente por la contaminación marina, incluidos los detritos marinos, en especial los plásticos, los COP, los metales pesados y los compuestos nitrogenados. Reconocer la importancia de adoptar un enfoque basado en el período de actividad y de seguir elaborando y aplicando políticas para lograr una gestión de los desechos (electrónicos y plásticos) con un uso eficiente de los recursos y ambientalmente racional.



En el año 2021 entraron en vigor nuevos lineamientos legalmente vinculantes al Convenio de Basilea, del cual Costa Rica, Panamá y Colombia son signatarios. Este Convenio sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, ha incluido en sus Anexos II (otros desechos) y VIII (residuos peligrosos), a los plásticos compuestos por una combinación de polímeros o aquellos que no son reciclables fácilmente. Esta restricción es un gran precedente para limitar la importación de desechos plásticos desde países altamente contaminantes, como los Estados Unidos (Basel Convention, 2019).

Por otro lado, el 16 de enero del 2021, la XVI Reunión del Comité de Revisión de Contaminantes Orgánicos Persistentes del Convenio de Estocolmo, acordó recomendar a los países partes del Convenio enlistar el aditivo plástico UV-328 en el Apéndice A de la Convención, para que sea eliminado del mercado. Este estabilizador, altamente tóxico, se utiliza en productos de cuidado personal y como cobertura para cauchos. Se ha encontrado en ambientes tan aislados como el Ártico y el océano Pacífico, acumulándose en los tejidos de las aves marinas que se alimentan en estas áreas y adhiriéndose a los microplásticos. También, ha sido detectado en la leche materna de los humanos (Stockholm Convention, 2021).

Este tipo de decisiones con impacto global están pavimentando el camino para acciones que van a requerir mayor compromiso por parte de los gobiernos. Los diagnósticos realizados previamente concluyen en la necesidad de constituir un órgano internacional con capacidad para coordinar y fortalecer los esfuerzos actuales en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), un instrumento internacional para combatir la basura plástica marina y los microplásticos que sea legalmente vinculante (UNEP, 2017).

En la IV Reunión del Grupo de Expertos en Basura Marina de las Naciones Unidas (noviembre, 2020), las partes coincidieron en que mantener el *statu quo* no es una opción. La mayoría de los países están de acuerdo en que se debe considerar la creación de un acuerdo internacional legalmente vinculante que permita: i) establecer objetivos de reducción globales y nacionales, ii) diseñar estándares, iii) eliminar los plásticos innecesarios, iv) facilitar planes de acción nacionales e internacionales, v) compartir conocimiento en un panel científico y utilizando una metodología global armonizada y vi) coordinar recursos financieros y técnicos a nivel internacional (Figura 24; UNEP, 2020).



Figura 24 - Beneficios de crear un acuerdo internacional (Fuente: UNEP, 2020)

Aunque países como los Estados Unidos, el país que produce más desechos plásticos en todo el mundo (Law et al., 2020), y el Reino Unido, no se han comprometido a participar en la propuesta para el acuerdo internacional, más de dos tercios de los países miembros de la ONU, incluyendo países de África, Bálticos, del Caribe, Nórdicos, del Pacífico, así como la Unión Europea (Figura 25), han manifestado su apoyo mediante declaraciones ministeriales advirtiendo sobre las consecuencias negativas para el planeta y la humanidad, si no se implementa un tratado similar al Acuerdo de París para abordar la problemática de la basura marina (McVeigh, 2020).

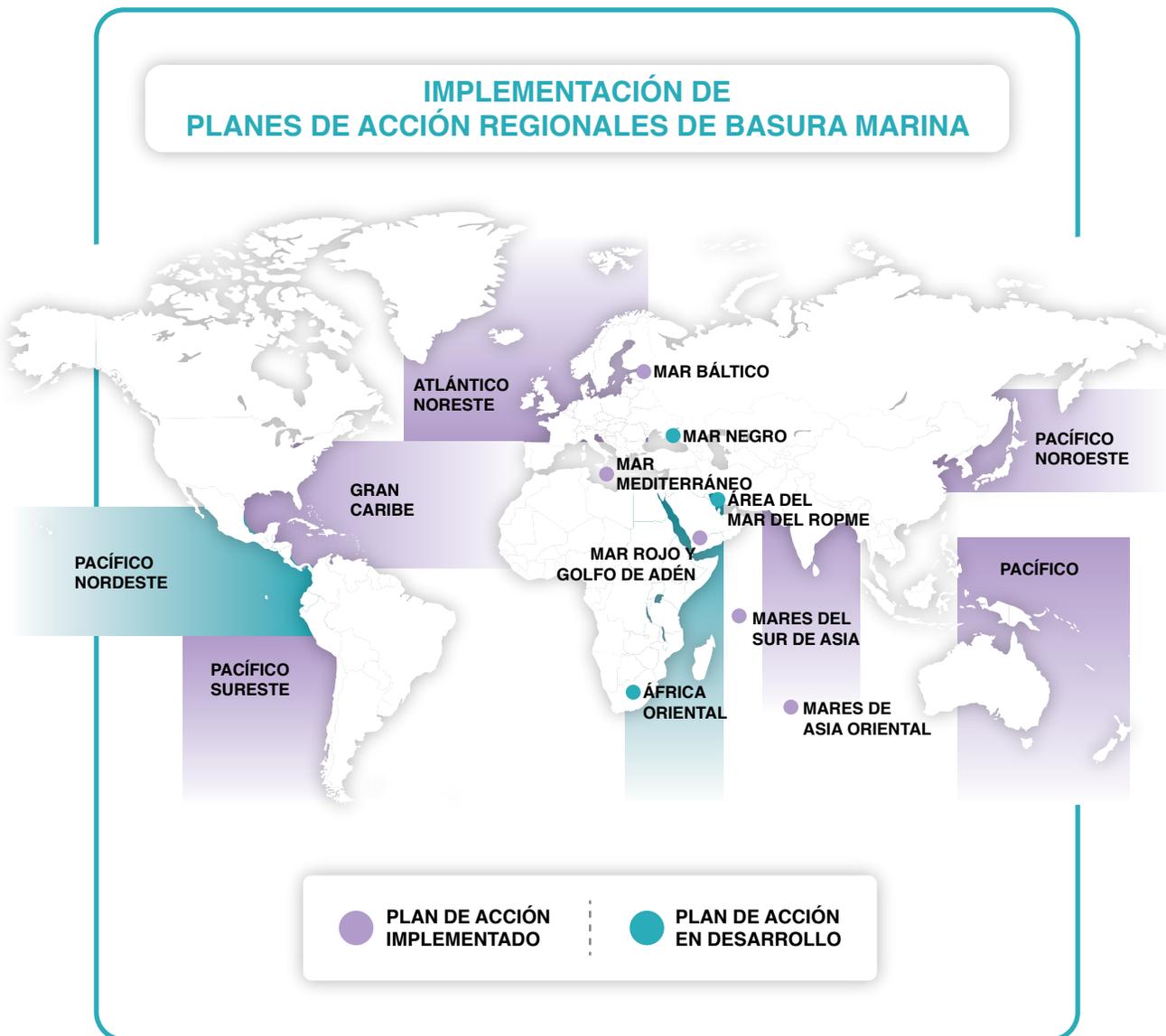


Figura 25 - Implementación de planes de acción regionales de basura marina (Fuente: UNEP, Marine Plastic Debris and Microplastics, documento en preparación)

5.1.2. Regulaciones nacionales y locales sobre los plásticos de un solo uso

En el 2019, 170 países firmaron el acuerdo para reducir significativamente los plásticos de un solo uso para el 2030 (Noticias ONU, 2019), muchos de los cuales han comenzado a implementar o continúan implementando medidas regulatorias para cumplir con este compromiso. Hasta mediados del 2019, al menos 43 países en todo el mundo habían prohibido o impuesto algún tributo al uso de bolsas plásticas. Estas regulaciones se erigen principalmente en países en desarrollo (33 países), la mayoría en África, donde las sanciones son severas y se ha enfrentado al sector industrial dando prioridad al ambiente natural sobre los intereses económicos. Por ejemplo, en Ruanda, los controles son estrictos y el plástico ha pasado a ser parte del mercado negro, ya que la política de tolerancia cero al plástico incluye sanciones de hasta un

año de cárcel para empresarios que decidan comercializarlo (de Freytas-Tamura, 2017). A pesar de detectarse falencias en la implementación de las regulaciones, se ha podido establecer una tendencia a la reducción en el uso de los productos, lo que indica que este tipo de políticas es eficiente (Karasik et al., 2020).

No obstante, como resultado de la pandemia en el 2020, algunas ciudades se vieron presionadas a suspender las legislaciones por los primeros meses del año o retrasar la entrada en vigor de las regulaciones. Tal fue el caso de los Estados Unidos, en ciudades de California, Massachusetts, Connecticut, Nueva York y Maine, así como de México (El Comercio, 2020).

En otras ciudades y países, regulaciones sobre plásticos de un solo uso se mantuvieron a pesar de la pandemia, debido a los impactos positivos que habían generado durante su implementación. Desde 2008, una Declaración del Consejo de Estado en China limitó la producción, venta y uso de bolsas de plástico de menos de 25 micrones⁸ de espesor para las compras al por menor. Como resultado, al cabo de un año se había prevenido la generación de 40 billones de bolsas (UNEP, 2018b). Asimismo, en Nueva York, la Ley Local 142 de 2013, prohibió la venta y uso de envases hechos de EPS para el servicio de alimentos. La medida entró en vigor en 2017 y se ha mantenido debido a que el Departamento de Saneamiento de la ciudad comprobó que los envases de EPS no se pueden reciclar de una manera económicamente factible o ambientalmente eficaz (Departamento de Saneamiento de Nueva York, 2017).

Sumándose a esta tendencia global, en Chile, por medio de la Ley 21100 (2018), se prohibió la entrega de bolsas plásticas en establecimientos de comercio en todo el territorio nacional. Se estima que en los primeros seis meses de vigencia de esta ley se evitó la entrega de casi 1.000 millones de bolsas plásticas (Ministerio de Ambiente de Chile, 2019). En ese mismo país se discute una legislación pionera que regulará el uso de productos de plásticos de un solo uso, prohibiendo que se utilicen, tanto dentro de los locales como en servicios a domicilio. Esta ley obligará también a los supermercados, tiendas de conveniencia y almacenes a ofrecer siempre opciones de bebidas retornables y estarán obligados a recibir el envase del consumidor (Ministerio de Ambiente de Chile, 2019).

En las Figuras 26 a 32 se presenta un listado de países que han implementado regulaciones enfocadas no solo en la eliminación inmediata o progresiva de bolsas plásticas, sino también de otro tipo de plásticos de un solo uso, desde el 2019 hasta principios del 2023. Se destaca la prohibición progresiva de estos plásticos en la Unión Europea, a partir del año 2021 y la influencia positiva que podría tener en otros países con los que el bloque tiene fuertes lazos políticos y económicos, incluyendo Costa Rica, Panamá y Colombia.



CENTROAMÉRICA Y EL CARIBE



Belice (2020)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:

Productos de un solo uso de espuma EPS, vajillas de plásticos, bolsas y pajillas.

LEGISLACIÓN:

Nacional

REFERENCIA:

Ley 8/2020.

Bahamas (2020)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:

Bolsas plásticas, pajillas y vajillas de plásticos, vasos y contenedores de alimento de EPS.

LEGISLACIÓN:

Nacional

REFERENCIA:

Ley 38/2019

Barbados (2020)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:

Vajillas, pajillas y bandejas de huevos de plástico y contenedores de EPS utilizados en la industria culinaria al detalle.

LEGISLACIÓN:

Nacional

REFERENCIA:

Ley 11/2019

Grenada (2020 - 2021)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:

Vajillas, utensilios y contenedores de plástico.

LEGISLACIÓN:

Nacional

REFERENCIA:

Ley 8/2018

Panamá (2020)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:

Hisopos plásticos, cobertores plásticos para lavandería, empaques plásticos para huevos, revolvedores plásticos, varillas plásticas para sostener globos, palillos plásticos para dientes, pajillas de plástico, palillos de cocktail de plástico, palillos plásticos para caramelos, anillos para latas, platos plásticos desechables.

LEGISLACIÓN:

Nacional

REFERENCIA:

Ley 187/2020.

Costa Rica (2019)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:

Empaques EPS (importación y producción), pajillas y bolsas de plásticos de un solo uso.

LEGISLACIÓN:

Nacional

REFERENCIA:

Ley 9703/2019 y Ley 9786/2019

Figura 27 - Regulaciones nacionales y locales sobre los plásticos de un solo uso en Centroamérica y Caribe (Fuente: Elaboración propia)



EUROPA



Reino Unido (2018)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:
Microperlas en la fabricación de cosméticos – Sancionado entre el 2017 y el 2019 en los diferentes países del Reino Unido.

LEGISLACIÓN:
Regional

REFERENCIA:
Ley 18/2019, Ley 760/2018, Ley 162/2018 y Ley 1312/2017

Inglaterra (2020)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:
Pajillas, mezcladores y bastoncillos de algodón.

LEGISLACIÓN:
Nacional

REFERENCIA:
Ley 971/2010

España (2020)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:
Comercialización de utensilios de plástico no reutilizables, platos, vasos, copas, tazas, cubiertos y pajillas.

LEGISLACIÓN:
Nacional

REFERENCIA:
Ley 161/2722/2018

Alemania (2021)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:
Cubiertos, platos de plásticos y pajitas para sorber (pajillas, popotes).

LEGISLACIÓN:
Nacional

REFERENCIA:
Ley 5/2021

Francia (2020 - 2022)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:
2020: Platos, vasos y bastoncillos de algodón
2021: Pajillas, cubiertos desechables, mezcladores, tapas para vasos desechables, confeti, contenedores de EPS, empaques de plástico para frutas y verduras. Sanción por envolturas plásticas excesivas.
2022: Bolsas de té, juguetes gratis en tiendas de comida rápida, botellas de plástico gratuitas en empresas. Plásticos desechables para alimentos servidos a la mesa en restaurantes de comidas rápidas.

LEGISLACIÓN:
Nacional

REFERENCIA:
Ley 1451/2019

Unión Europea (2021)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:
Hisopos de algodón, cubiertos, palillos y platos de plásticos, pajillas.

LEGISLACIÓN:
Nacional

REFERENCIA:
Directiva 904/2019.

Figura 29 - Regulaciones nacionales y locales sobre los plásticos de un solo uso en Europa (Fuente: Elaboración propia)



ÁFRICA



Tanzania (2019)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:

Bolsas de plástico.

LEGISLACIÓN:

Nacional

REFERENCIA:

Ley 394/2019

Ruanda (2019)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:

Todo tipo de plásticos de un solo uso excepto los compostables.

LEGISLACIÓN:

Nacional

REFERENCIA:

Ley 17/2019

Kenia (2020)

PLÁSTICOS PROHIBIDOS:

Botellas de plástico, bolsas de plástico de polipropileno y polietileno, envoltorios de alimentos, bolsas, pajitas y tapas, en áreas protegidas.

LEGISLACIÓN:

Nacional

REFERENCIA:

Ley 47/2019

Figura 31 - Regulaciones nacionales y locales sobre los plásticos de un solo uso en África (Fuente: Elaboración propia)



Figura 32 - Regulaciones nacionales y locales sobre los plásticos de un solo uso en Oceanía (Fuente: Elaboración propia)

Se observa que varios países del Caribe han utilizado la misma estrategia de tres fases, en la que primero se prohíben las importaciones, seguida de limitar la venta al por mayor y prohibir completamente el consumo de los productos. En la Ciudad de México, la prohibición de bolsas plásticas hace una excepción si estas son compostables. Una de las estrategias más claras es la establecida por Francia, que progresivamente dejará de permitir desde los platos desechables hasta los juguetes plásticos que se entregan de manera gratuita en las tiendas de comida rápida.

5.1.3. Iniciativas de la Sociedad Civil

En los últimos 20 años se han impulsado diferentes iniciativas desde la sociedad civil y las empresas privadas dirigidas a la prevención de la contaminación marina por plásticos. Dichos esfuerzos se enmarcan en diferentes etapas del ciclo de vida del plástico, algunas buscan disminuir el consumo y otras promueven más y mejor reciclaje. En el Cuadro 8 se presentan algunos ejemplos.

Cuadro 8 - Algunas iniciativas de organizaciones de la sociedad civil a nivel mundial (Fuente: elaboración propia)

INICIATIVA	AÑO	LUGAR DE ACCIÓN	PROPÓSITO	SITIO WEB
Alianza Internacional Cero Desechos	2002	Internacional	Promover alternativas a los rellenos sanitarios y a la incineración e incrementar la conciencia sobre los beneficios sociales y económicos de los desechos como un recurso.	http://zwia.org/
Take 3 for the sea	2010	Internacional	Movimiento global que busca acción contra la contaminación por plásticos. Su lema "Llévate 3 piezas de basura cuando salgas de la playa, el canal o... en cualquier lugar, y habrás marcado la diferencia".	https://www.take3.org/
The Ocean Cleanup	2013	Giros oceánicos	Diseñar y desarrollar sistemas de limpieza para limpiar lo que ya está contaminando los océanos e interceptar el plástico en su camino hacia el océano a través de los ríos.	https://theoceancleanup.com/
Plastic Oceans	2015	Estados Unidos, Canadá, Chile (Oceana), Europa y México	Terminar con la contaminación por plástico fortaleciendo comunidades de todo el mundo, bajo los principios de educación, activismo, incidencia y ciencia.	https://plasticoceans.org/who-we-are/

INICIATIVA	AÑO	LUGAR DE ACCIÓN	PROPÓSITO	SITIO WEB
Break free from plastic	2016	Internacional	Es un movimiento de más de 11 mil organizaciones e individuos que demandan la reducción de los plásticos de un solo uso y presionan por soluciones definitivas a la crisis de la contaminación por plástico, con valores de protección ambiental y justicia social.	https://www.breakfreefromplastic.org/about/#
Campaña Mares Limpios (ONU) - Clean Seas	2017	Internacional	Insta a los gobiernos a aprobar políticas para reducir el plástico; pide a la industria minimizar los envases plásticos y rediseñar productos; y llama a los consumidores a cambiar sus hábitos de desecho antes de que se haga un daño irreversible a nuestros mares.	https://www.cleanseas.org/?_ga=2.95853599.2096681259.1611700592-66120374.1611117448
New Plastics Economy (Ellen Macarthur Foundation)	2018	Internacional	Es una iniciativa para generar impulso hacia un sistema de plásticos que funcione. Aplicando los principios de la economía circular, reúne a las partes interesadas clave para repensar y rediseñar el futuro de los plásticos, comenzando por los envases.	https://www.newplasticseconomy.org/
Ocean Plastics Leadership Network	2019	Estados Unidos	Red para movilizar a las marcas, científicos de materiales, tecnologías innovativas y ONGs/ Activistas dentro de la cadena de valor del plástico.	https://oceanplasticsleadershipnetwork.com/
#OcéanosSinPlásticos (Oceana)	2019	Chile	Busca enfocarse en la prevención y en la reutilización como herramientas efectivas en la disminución de la contaminación por plásticos, por medio de un proyecto de ley que regule los desechos y plásticos de un solo uso.	https://chile.oceana.org/our-campaigns/plastica/campaign

5.1.4. Campañas de sensibilización y educación regionales y locales

Fundación MarViva concentra sus acciones en Costa Rica, Panamá y Colombia con la campaña #ChaoPlásticoDesechable. En Panamá, después de aprobarse la ley nacional que prohíbe el uso de bolsas de polietileno para transporte de mercancía, se ha utilizado la misma propuesta de comunicación de #ChaoPlásticoDesechable para incrementar la sensibilización utilizando los hashtags #SinCarrizoPorFavor, #AdiósCarrizo y #MenosPlástico, entre otros, desincentivando el uso de estos materiales. Incluso, la Policía Nacional de Panamá creó una campaña llamada “Por un Planeta sin Contaminación por Plástico”, que busca que cada oficial cambie sus bolsas plásticas por bolsas reutilizables (ANCON, 2017).

En Colombia, la campaña de Greenpeace “mejor sin plásticos” invita a las empresas que contaminan, entre otros actores, para que tomen conciencia del impacto que causan. Un ejemplo fue la campaña “Éxito: libera la fruta”, dirigida específicamente a los negocios que venden este tipo de productos, para que elimine las envolturas innecesarias de las frutas (Greenpeace, s.f.). A continuación, se enlistan las más destacadas, sin dejar de reconocer los esfuerzos que realizan otras organizaciones (Cuadro 9).

Cuadro 9 - Iniciativas regionales y locales para mitigar la contaminación por plástico (Fuente: elaboración propia)

INICIATIVA	AÑO	LUGAR DE ACCIÓN	PROPÓSITO	SITIO WEB
Campaña #ChaoPlásticoDesechable (Fundación MarViva)	2015	Regional (Costa Rica, Panamá, Colombia)	Cambiar hábitos de consumo; disminuir el uso y consumo de botellas plásticas de un solo uso, informar y sensibilizar sobre el impacto del plástico desechable en los ambientes marinos y costeros, así como desmentir los mitos y percepciones equivocadas sobre el tratamiento de residuos y el reciclaje.	https://www.marviva.net/es/chaoplasticodesechable
La Verdad Sobre el Plástico (ciudadanía)	2015	Costa Rica	Iniciativa ciudadana para avivar una conversación necesaria: La verdad sobre el plástico.	https://www.facebook.com/laverdadsobreelplastico/
Basura Cero (Alcaldía)	2015	Ciudad de Panamá	Reducir la disposición de residuos a través de la implementación de las 3R (reducir, reutilizar y reciclar) a través de programas de sensibilización, normatividad y fortalecimiento institucional, así como a través de una economía de mercado con el fin de contribuir a la calidad de vida de los habitantes.	https://basuracero.mupa.gob.pa/#:~:text=El%20Programa%20Basura%20Cero%202015,fortalecimiento%20institucional%2C%20as%C3%AD%20como%20a

INICIATIVA	AÑO	LUGAR DE ACCIÓN	PROPÓSITO	SITIO WEB
Estrategia Nacional de Sustitución de Plástico de Un Solo Uso por Alternativas Renovables y Compostables (Gobierno)	2017	Costa Rica	Reducir la presencia de plásticos de un solo uso en ríos y playas de Costa Rica y en sitios de disposición final en el país. Además, de permitir el crecimiento económico de la industria de alternativas renovables y compostables.	http://estrategia.zonalibredeplastico.org/
Desplastifica tu ciudad (DADSA)	2018	Santa Marta – Colombia	Busca reducir los altos índices de contaminación por plásticos que afectan el mundo entero y a la ciudad de Santa Marta. Preservar las fuentes hídricas, principalmente, fauna y flora marina que son afectadas con pajillas, botellas, bolsas y todo tipo de plásticos de un solo uso.	https://dadsa.gov.co/index.php/project/desplastifica-tu-ciudad/
Campaña mejor sin plásticos (Greenpeace)	2018	Colombia	Considerar la contaminación plástica como uno de los problemas ambientales más graves que sufre el país e instar al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable a que cumpla con la Política Nacional de Gestión de Residuos Sólidos y elimine los plásticos de uso único.	https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/issues/contaminacion/greenpeace-anuncia-campana-para-frenar-el-avance-del-plastico-en-colombia/
Chifea tu bolsa (PNUD)	2019	Panamá	Brindar información relevante sobre la implementación de la ley de prohibición en Panamá y medidas alternas para que las personas sean “agentes de cambio”. Recomienda llevar bolsas reutilizables y educar a familiares y conocidos sobre la ley, con el objetivo de evitar el uso de plástico.	https://www.pa.undp.org/content/panama/es/home/presscenter/articles/2019/cuenta-atras-para-decir-adios-a-las-bolsas-plasticas-en-panama.html

5.2. Economía circular: limitaciones del reciclaje del plástico y de sus alternativas



5.2.1. Economía circular del plástico

Se define como “Economía Circular” aquella en la que se planifica que los materiales y productos se continúan utilizando indefinidamente en el mismo ciclo productivo, permitiendo que los sistemas naturales se regeneren, y disminuyendo el consumo de recursos naturales, previendo la generación de desechos y la contaminación. Al minimizarse los desechos, las emisiones y la pérdida de energía, el consumo en una sola dirección se va convirtiendo en un ciclo cerrado y regenerativo (Figura 33) (Ellen MacArthur Foundation, 2019; UNCRD, 2020).



Figura 33 - Esquema “ideal” de la economía circular de los plásticos, siempre y cuando se cumpla con ciertas condiciones de reciclabilidad, biodegradabilidad o compostaje (Fuente:..modificado de Bromine and the Circular Economy - <https://www.bsef.com/sustainability/bromine-the-circular-economy/>)

Las propuestas de economía circular de los plásticos buscan que el valor del plástico se mantenga lo más alto posible por el mayor tiempo posible, previniendo el impacto ambiental, lo cual constituye un concepto que va mucho más allá del reciclaje. En 2016, el Foro Económico Mundial planteó la creación de una economía efectiva de los plásticos posconsumo como estrategia para hacer una transición a la economía circular de los plásticos. Entre sus objetivos, se incluyó alcanzar el reciclaje efectivo, la reutilización y la biodegradación controlada para aplicaciones específicas, reducir la filtración de los plásticos a los sistemas naturales (particularmente el océano) y desvincular el plástico de los combustibles fósiles. Además, se propuso reducir las pérdidas de material mediante la adaptación a materias primas renovables (World Economic Forum, 2016; Bucknall, 2020).

Sin embargo, los retos y los problemas estructurales para lograrlo son variados, ya que los criterios de la economía circular demandan que los materiales estén basados en fuentes renovables, que se puedan reutilizar, reparar o remanufacturar, o que se descompongan fácilmente y sin contaminar el ambiente, algo que no ocurre con los plásticos y se detalla a continuación.

5.2.2. Retos del proceso de reciclaje del plástico



Pila mecánica de acaparamiento manual de residuos mezclados © Shutterstock

El reciclaje es el elemento esencial de la economía circular y, en el caso de los plásticos, es hasta ahora la principal propuesta para reducir la contaminación ambiental por este tipo de desechos con mayor aplicación en todo el mundo. Sin embargo, el reciclaje del plástico continúa siendo de ciclo abierto. Esto quiere decir que el producto, como una botella plástica, se transforma en productos diferentes al original, que después de ser utilizados ya no se pueden volver a reciclar; en resumen: *el plástico no es infinitamente reciclable*. Por el contrario, en los sistemas de ciclo cerrado, como el de las latas de aluminio o vidrio, estas se convierten nuevamente en latas de aluminio, algo que no se puede replicar con los plásticos (Davis, 2019; Bucknall, 2020).

Los dos métodos principales para reciclar plástico son el mecánico y el químico. El reciclaje mecánico consiste en coleccionar, seleccionar y lavar los desechos plásticos, para luego derretirlos y convertirlos nuevamente en pellets, sin que se pierdan las propiedades de los polímeros. Sin embargo, no todos los plásticos se pueden procesar de esta manera y los que sí, como los PET, pierden calidad con las altas temperaturas a las que se someten.

Por otro lado, el reciclaje químico consiste en reducir el plástico (polímero) a sus formas más simples (monómeros), mediante procesos químicos para, en la teoría, reutilizarlos en la creación de nuevos plásticos, químicos o combustibles (Pahl, 2020).

Según el nivel al que los plásticos se reducen, las tecnologías del reciclaje químico se han dividido en: i) purificación con solventes, la cual reduce el plástico a nivel de polímeros únicamente, pero solo funciona con plásticos de un solo tipo a la vez, ii) despolimerización química, que reduce los plásticos a monómeros (la molécula base) que, al igual que los solventes, requiere que el material sea de un solo tipo de polímero y iii) despolimerización térmica y fragmentación, que son las tecnologías de mayor uso, ya que son capaces de reducir los plásticos en sus partículas más simples, sin importar si los materiales son de diferente tipo. Uno de los subproductos de este tipo de reciclaje químico son los combustibles (p. ej. hidrocarburos) (Zero Waste Europe, 2019).

La despolimerización térmica y la fragmentación se promueven como la alternativa para reciclar todo aquello que el reciclaje mecánico no puede. Sin embargo, estas tecnologías están basadas principalmente en las técnicas de pirólisis y gasificación, las cuales consisten en someter al plástico a altas temperaturas en ausencia de o con poco oxígeno, respectivamente (Zero Waste Europe, 2019; CNBC, 2020). Estas tecnologías requieren grandes cantidades de energía durante todo el ciclo de tratamiento y producción de los materiales (Pahl, 2020). Además, los productos de las reacciones físicas, químicas y térmicas que ocurren en el proceso (gas y combustible), requieren la adición de otros componentes químicos (Rollinson y Olajedo, 2020).

Por otro lado, además de los aditivos que se utilizan para mejorar las propiedades de los plásticos, como por ejemplo los ftalatos, el BPA, los hidrocarburos aromáticos policíclicos, entre otros químicos cancerígenos (ver 2.1.1.1), los desechos plásticos están contaminados con compuestos tóxicos que se transforman en dioxinas durante el proceso de despolimerización. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016), las dioxinas son altamente tóxicas y pueden afectar el sistema inmune y alterar las hormonas causando cáncer en los seres humanos. Las dioxinas permanecen en varios de los subproductos de la pirolisis, incluyendo gases tóxicos que contienen cianuro de hidrógeno (HCN) y el monóxido de carbono (CO) (Rollinson y Olajedo, 2020). La gasificación también resulta en la emisión de estos y otros gases contaminantes como el óxido de nitrógeno (N_xO_y), causante de la lluvia ácida, partículas tóxicas, metales pesados y gases de efecto invernadero, resultantes de la mezcla de diferentes tipos de polímeros (Tangri y Wilson, 2017).

Ante el reciclaje químico, el panorama no es claro. Existe una gran contrariedad en querer presentar la transformación de plástico en combustible como una alternativa sostenible y circular, cuando el producto final emitirá gases tóxicos y, contrario a lo que se desea, incentivará el uso de los plásticos. Sin embargo, el reciclaje químico está recibiendo mayor financiamiento que el reciclaje mecánico (Pahl, 2020). En cuanto a la conversión de desechos plásticos en plástico nuevo, la industria no parece ser transparente en cuanto a los impactos ambientales reales de los procesos, lo que, de cierto modo, les permite evadir los límites permitidos de contaminación atmosférica. La información de los impactos con la que se cuenta hasta ahora ha sido obtenida a partir de estudios independientes relacionados con los subproductos de la pirolisis y la gasificación en general (Tangri y Wilson, 2017; Rollinson y Olajedo, 2020).

En conclusión, aunque el reciclaje químico es más versátil en cuanto a los tipos de polímeros que se pueden reciclar, es más costoso, requiere más energía y podría ser

mucho más contaminante emitiendo, mediante pirólisis, hasta un 77 % más gases de efecto invernadero que la producción de hidrocarburos como la nafta (Tabrizi et al., 2020). Además, las limitaciones en cuanto a la calidad y el volumen de materia prima que se requiere son las mismas que las del reciclaje mecánico (Pahl, 2020;) y, aunque ambos tipos de reciclaje podrían complementarse, el reto en cuanto a la capacidad de procesamiento frente a la velocidad de producción de plástico virgen sigue presente (Hundertmark et al., 2018; Tullo, 2020), mientras que el objetivo ideal de reducir la producción de plásticos queda de lado.

En cuanto al plástico que se encuentra en el mar, se ha demostrado que, aunque requiere un buen proceso de limpieza por la cantidad de sal, arena, algas y pastos marinos que acumula, puede ser sometido a procesos de reciclaje y reutilizado, teniendo en cuenta que por la exposición a los rayos UV, en el caso de plástico flotante, pierde su coloración y puede ser menos resistente a romperse. Sin embargo, existe preocupación sobre la toxicidad de los subproductos de este plástico, no solo por los tóxicos inherentes al plástico, sino por los demás contaminantes que se pueden absorber en el mar (Myers, 2020; Ronkay et al., 2021).

Por otro lado, siendo el reciclaje mecánico el método más utilizado y menos costoso, sigue siendo más caro que la producción de plástico virgen (Bucknall, 2020; Walker et al., 2020). El proceso requiere de una clasificación a la escala más específica posible incluyendo tipos de polímero y colores. Por tal motivo, hasta un 30 % del plástico no se puede clasificar o está muy contaminado para reciclarse. Esta incompatibilidad está muy presente con los plásticos biobasados que, en el caso del PLA, afecta de manera significativa la calidad de los productos reciclados si en el proceso de reciclaje se combina con plásticos de origen fósil (Alaerts et al., 2018; Franklin-Wallis, 2019; Bucknall, 2020).

Todo este material descartado termina en incineradoras, también presentadas como una opción sostenible al producir energía a partir de los desechos. Sin embargo, generan gases contaminantes, cenizas, aguas, lodos residuales y emisiones de calor. Se calcula que la incineración de una tonelada de plástico genera el equivalente a 2.894 kg de CO₂ de efecto invernadero (Kistler y Muffett, 2019). Dadas estas condiciones, se estima que la incineración de desechos plásticos en el corto plazo llegará a ser casi equivalente en emisiones de carbono al gas y al carbón, emitiendo más toxinas y contaminantes al aire sin contribuir a la reducción en el uso de los plásticos e impactando negativamente el ambiente y la salud de las comunidades cercanas a las plantas de incineración (Client Earth, 2021).



Planta de incineración de basura contamina el ambiente © Shutterstock

Por último, la industria del plástico actúa conforme a la dinámica del mercado y los incentivos económicos. Así, en 2018, el mercado se valoró en USD 41.7 millones, con una expectativa de crecimiento del 6,6 % entre los años 2019 y 2027 (Research and Markets, 2020). Sin embargo, la prohibición de China en 2018 de recibir residuos de otros países, contribuyó a la caída en los precios del plástico virgen, sumada a la crisis de la pandemia por la Covid-19, que ha producido una baja en el precio de los hidrocarburos, dando como resultado que los costos de producción de resinas recicladas sean aún más altos que los potenciales ingresos. Por lo tanto, existe un mayor incentivo económico en adquirir resinas de plástico vírgenes que las resinas recicladas.

5.2.3. Estándares internacionales comunmente utilizados en los plásticos de origen biológico



A nivel mundial, existen estándares internacionales, establecidos por organizaciones privadas, para garantizar que la información presente en el etiquetado de los productos cumple con alguna característica en particular. Entre los estándares más utilizados, se encuentran el de la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés), los del Comité Europeo de Normalización (CEN; conocidos como EN), los de la ASTM de los Estados Unidos y los Estándares Australia (AE, por sus siglas en inglés). Basadas en estos, otras organizaciones, centros de investigación y laboratorios, se dedican a recrear las condiciones que se especifican en el producto y certificarlas, haciendo las pruebas detalladas en la norma o estándar y proporcionando el derecho a utilizar los sellos que comunican el aval y el tipo de certificación a los usuarios finales.

Si algún producto o material es susceptible de biodegradarse en ciertas condiciones ambientales muy específicas (p. ej. agua marina, tierra o aire; con cierto nivel de humedad y ciertos microorganismos presentes), un laboratorio recrea esas condiciones en el certificado y avala el resultado para ese ambiente específico que ofrece un resultado específico. Por ejemplo, en el caso de los plásticos de origen biológico, no existe certificación que establezca la capacidad de los mismos de biodegradarse y compostarse en ambientes naturales o



compostajes caseros, y las certificaciones existentes, autentican la compostabilidad en diferentes tipos de instalaciones industriales (Comisión Europea, 2019). En ningún supuesto, las certificaciones relacionadas con plásticos de origen biológico legitiman que dichos materiales son biodegradables en todos los posibles ambientes existentes en el mundo, entre ellos, rellenos sanitarios, fondos marinos, suelos, jardines de la casa y un sin fin más de posibles condiciones ambientales presentes. Para refrescar la información sobre biodegradabilidad y plásticos biobasados, se puede regresar al apartado 2.1.2.1.).

En Latinoamérica, se ha identificado la utilización de los estándares ASTM y EN. Los ASTM incluyen la norma técnica D6866 para certificar plásticos como biobasados (p. ej. que contienen alguna materia prima de origen biológico o renovable), la D6400 que indica que el plástico está diseñado para ser compostable de forma industrial y la D6868 que incorpora el papel y otros sustratos, facilitando este mismo tipo de compostaje. También, se utiliza el estándar EN13432 que caracteriza productos para embalaje recuperable mediante compostaje industrial.

En el caso de los plásticos, cuando el comprador o el usuario consume productos que han sido certificados, encuentra símbolos impresos como los de la certificadora TUV AUSTRIA (Figura 34), que se asume informan de manera clara si el plástico es biobasado, compostable industrial o compostable en el hogar. Sin embargo, esta no parece ser la realidad, ya que por el contrario, tiende a confundir. Por ejemplo, en observaciones realizadas en el Reino Unido, se determinó que existen hasta siete símbolos distintos, en los cuales los sellos legibles indican: i) si el plástico es extensamente reciclable, ii) si se debe revisar con el centro de reciclaje local o iii) si todavía no se debe reciclar. En otros casos, los productos tienen símbolos con los que

el consumidor puede no estar familiarizado y que no necesariamente significan que el producto sea reciclable o compostable, provocando una disposición equivocada (Bucknall, 2020; Franklin-Wallis, 2019). Todos los certificados presentes omiten explicar clara y detalladamente las condiciones ambientales específicas, todas industriales, donde el desecho plástico puede compostarse o tratarse de forma tal que no afecte negativamente al ambiente, elemento que sin duda confunde al consumidor.

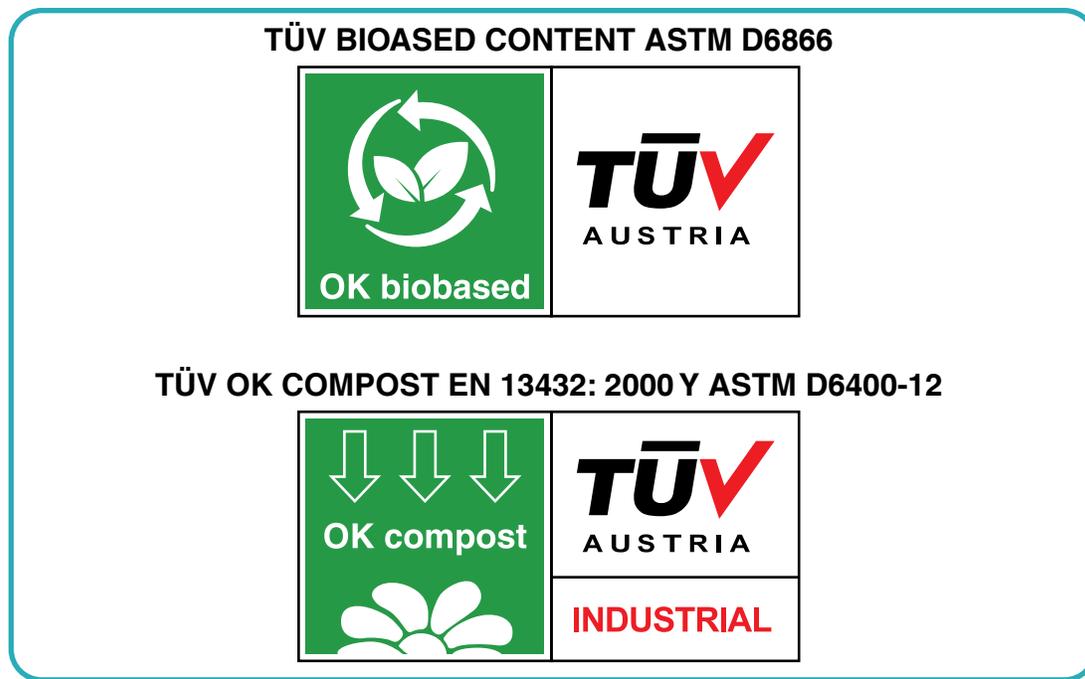


Figura 34 - Ejemplo de sellos en los empaques (Fuente: <https://www.interplasticoscolombia.com/>)

Los diferentes estándares (ISO, EN, ASTM) son equiparables (Cuadro 10) y sus correspondientes certificaciones se pueden utilizar simultáneamente para identificar los productos, generando malinterpretaciones incluso para la normativa de los países. Este es el caso de Costa Rica, donde la Estrategia Nacional para Sustituir el Consumo de Plásticos de un Solo Uso por Alternativas Renovables y Compostables se plantea implementar un esquema de clasificación RCM, basado en estándares internacionales (ASTM 6400, 6488, 7081-5 y EN13432).

No obstante, los estándares ASTM 6488 y ASTM D7081-5 no tienen aplicabilidad. En el caso del ASTM 6488, se trata de un estándar que no corresponde al tema de gestión de plásticos y sin embargo se menciona en las páginas 13 y 44 de la Estrategia antes mencionada. Asimismo, el ASTM D7081-5 que certificaba plásticos no flotantes como biodegradables en el medio marino fue retirado en el 2014, probablemente por no contar con una descripción sobre el desempeño en cuanto a la biodegradabilidad del material (SAI Global, 2005). En el caso particular de Costa Rica, es importante se realice una revisión de los estándares sugeridos.

Ante las constantes confusiones, es muy importante que los productores y los países realicen un mejor análisis en cuanto al tipo de estándares que quieren adoptar, especialmente si van a estar ligados a la legislación nacional. Por otro lado, se debe asegurar que los sellos o símbolos utilizados sean muy claros para los consumidores, garantizando que la gestión desde la fuente sea la correcta. Por ello, si no se educa al consumidor sobre los diferentes símbolos y su significado, se puede provocar una confianza ciega en productos que generarán más desechos.

Cuadro 10 -

Ejemplos de algunos estándares internacionales para plásticos renovables y compostables
(Fuente: Adaptado de Oceana, 2019)

ASTM	NORMA EUROPEA EN	ISO
6400	13432	
Especificación estándar para marcar plásticos diseñados para ser compostables de manera aeróbica en instalaciones municipales o industriales.	Requerimientos para empaques recuperables por medio del compostaje y la biodegradación industrial.	
6868		17088
Especificación estándar para marcar productos finales que incorporan plásticos y polímeros como recubrimiento o aditivos con papel u otros sustratos diseñados para ser compostables de manera aeróbica en instalaciones municipales o industriales.		Especificaciones para plásticos compostables industrialmente.
7081		
Especificaciones estándar para plásticos biodegradables que no flotan en el ambiente marino (Descontinuada).		
6866	16785	
Método estándar de prueba para determinar el contenido biobasado de muestras sólidas, líquidas y gaseosas utilizando un análisis de radiocarbono.	Determinación del contenido biobasado de productos sólidos, líquidos o gaseosos, materias primas, productos finales o intermedios.	

Los consumidores tienen derecho a la claridad en cuanto a los sellos de certificación, para comprender las condiciones en las que se biodegrada o se hace compostaje de un producto. De otro modo, no tendrá ninguna validez contar con este tipo de certificación y continuará afectando negativamente, tanto a los sistemas de reciclaje como a la problemática de desbordamiento de los rellenos sanitarios, así como al ambiente de forma directa.

El sello individual es insuficiente, ya que no describe todas las condiciones que los usuarios deben tener en cuenta para la disposición final de los residuos (Figura 35). Esto puede ser contraproducente, debido a que, inintencionalmente, el consumidor puede mezclar los productos compostables industriales, con los compostables en casa, o con los reciclables, sin tener conocimiento de que, en cada caso, se requieren condiciones diferentes de temperatura, así como el tipo de microorganismos capaces de degradar el material en el menor tiempo posible (ASTM, 2019).



Figura 35 -

Sellos simples, sin indicaciones específicas sobre las condiciones de compostabilidad o biodegradabilidad. (Fuente: <https://www.interplasticoscolombia.com/>)

Conclusiones y recomendaciones

Es innegable el aporte que tienen los productos de plástico en el desarrollo económico actual de todos los países del mundo. No obstante, también existe consenso global sobre los impactos negativos que tienen los desechos plásticos en los ambientes marinos y costeros. Como se ha evidenciado en esta publicación, en los últimos 10 años se han llevado a cabo una serie de acciones públicas y privadas, orientadas a reducir y prevenir dicho impacto. Hoy, se cuenta con más información científica sobre los potenciales impactos negativos del plástico a lo largo de todo su ciclo de vida: producción, consumo, uso y gestión de los desechos, haciendo cada vez más evidente el costo económico de la contaminación por plásticos.

El principal reto de la contaminación por plásticos y, en especial, de los desechos de plásticos de un solo uso, se encuentra en el enfoque que se le ha otorgado al problema. Este es limitado o estrecho y, actualmente las soluciones propuestas se enfocan solamente en una etapa del ciclo. Un enfoque basado enteramente en el reciclaje o solamente en prohibiciones, tendrá un alcance limitado en un contexto en el que la problemática responde a dinámicas estructurales ligadas a las formas de producción y consumo globales. Por lo tanto, las soluciones a la crisis de la contaminación marina por desechos plásticos y, en general, a la contaminación por plásticos y plásticos de un solo uso, deberán pensarse de forma integral y sistemática.

A la fecha, se han implementado un sinnúmero de acciones privadas y gubernamentales dirigidas a mitigar la contaminación plástica. Sin embargo, estas han surgido de forma desarticulada y con la vista puesta en etapas específicas del ciclo de vida del plástico. En la región de estudio se han emitido normas con diferentes niveles de alcance (local, nacional o regional), algunas dirigidas a la promoción del reciclaje, otras a la promoción de alternativas ampliamente cuestionadas como los plásticos de origen biológico, y algunas enfocadas en la prohibición de aplicaciones del plástico de un solo uso muy específicas, todas ellas sin conexión entre sí. Otro problema ha sido la implementación de medidas con la mira puesta en limpiar la “imagen pública” del plástico, desconociendo un problema ambiental, económico y social, que no se puede ocultar más.

Particularmente, se observa una debilidad común en cuanto a la desactualización que existe en los sistemas de información disponibles en Costa Rica, Panamá y Colombia. Esto impide un manejo eficiente frente al conocimiento real del problema

y dificulta la toma de decisiones informadas y oportunas. Además, provoca un desperdicio de recursos por duplicidad de esfuerzos, lo cual se aprecia en estudios que se realizan más de una vez, sobre las mismas bases. Esto puede incluso asemejarse a estrategias para dilatar la pronta toma de decisión.

La construcción de las políticas públicas se basa en el planteamiento estratégico que permite la identificación del problema a través de: i) la construcción de líneas base y estados de situación, ii) la definición del objeto y objetivo de intervención, iii) el análisis de las posibles opciones de respuesta (p. ej. potenciales alternativas acordes al problema a solucionar y al objetivo planteado), iv) la formulación de indicadores que permita la medición y v) el análisis financiero que de sostenibilidad y escalabilidad a las políticas propuestas. Todo lo anterior debería realizarse para cada caso concreto y escenario específico de regulación, considerando el marco jurídico existente en todos los niveles y aplicando evaluaciones de políticas públicas con metodologías actualizadas que incluyan los beneficios sociales, económicos y ambientales como criterios.

Se recomienda como primer paso que se implementen mecanismos de control y medición armonizados y más eficientes, ligados a sistemas de información actualizados en tiempo real sobre importación, exportación, producción, consumo y generación de desechos plásticos. Este deberá ser el primer paso para la producción de acciones estatales y del sector empresarial más eficientes.

Es crítico que, aunque el concepto de economía circular se está utilizando ampliamente, aún no hay consenso y claridad frente a las prácticas y estrategias a las que hace referencia. Incluso, se ha entendido como sinónimo de reciclaje. Por ello, es clave que, tanto los consumidores como los productores, reconozcan que para poder incorporar de manera efectiva los plásticos a este tipo de modelo, estos deben cumplir con ciertas características en cuanto a degradabilidad y compostabilidad o, en su defecto, tener la capacidad de conservar la calidad al momento de ser reciclados. Esta pérdida de calidad en el proceso es la razón por la cual el reciclaje, a como se implementa actualmente, continúa utilizando un esquema lineal. Además, se debe profundizar en la investigación científica sobre los potenciales efectos tóxicos del reciclaje, así como reconocer la naturaleza química del plástico, producido a partir de y con sustancias químicas, muchas de ellas consideradas potencialmente tóxicas para el ser humano.

La promoción del reciclaje debe ser clara en cuanto a que la gran mayoría de los plásticos no son reciclables y transparente frente a sus limitaciones financieras y técnicas. Estas son barreras enormes que deberán resolverse antes de comunicar e invitar a los consumidores a confiar en el reciclaje como la solución óptima.

Los usuarios, consumidores y personas en general, sin distinción de nivel educativo, económico o lugar de residencia, tienen el derecho a información veraz, clara y oportuna. Una de las debilidades más evidentes es la falta de claridad con respecto a los sellos o certificaciones presentes en los productos plásticos. Es indispensable que los productores incluyan etiquetas en el empaque e informen sobre las condiciones necesarias de reciclaje, biodegradabilidad o compostabilidad (p. ej. temperatura, humedad, tiempo), de los productos que comercializan.

Asimismo, estos sellos también deberían advertir sobre los potenciales riesgos del plástico para la salud humana, razón por la cual se debería informar de manera clara y directa sobre la presencia de los aditivos químicos que se utilizan para proporcionar

ciertas cualidades a los plásticos y el impacto que estos pueden tener en el ser humano, muy especialmente en el sistema endocrino y a través de exposiciones prologandas.

Por otro lado, es importante involucrar a la ciudadanía en la recopilación de datos como parte de las estrategias de concientización. Por ejemplo, a través de la generación de información sobre la cantidad, tipo y procedencia de los plásticos que se recolectan en las limpiezas en playas. Pese a demostrarse que estas iniciativas no aportan sustancialmente en la crisis de la contaminación marina costera, tienen el potencial de generar datos que pueden ser incorporados en los diagnósticos para desarrollar políticas públicas. Asimismo, incentiva la participación de la ciudadanía en la construcción de soluciones. Para los ciudadanos alejados de las zonas costeras, se recomienda desarrollar actividades *online* o presenciales, que incluyan información sobre el ciclo de vida de los plásticos y el impacto de cada parte del ciclo. Además, se recomienda generar actividades en las que se interactúe para asegurar comprensión sobre los sellos y sobre todas las alternativas existentes a las que pueden acceder para reducir el uso y consumo de plásticos de un solo uso, sobre todo, en la era post Covid-19.

En cuanto a la problemática ambiental, es recomendable que se establezcan estrategias de trazabilidad para hacer un mejor manejo de las fuentes (p. ej. barreras en ríos y otros cuerpos de agua) y que se preste atención a los comportamientos de los ecosistemas que interactúan con los plásticos. Por ejemplo, un descubrimiento reciente señala que el plástico puede quedar atrapado en lo que los científicos han llamado “esferas de Neptuno”, formadas por fragmentos de pastos marinos que por acción de la marea son expulsados a las playas (Agence France-Presse, 2021), lo que se ha considerado como un nuevo servicio que provee este ecosistema.

De igual forma, es necesario desarrollar investigación sobre los usos sociales del plástico, particularmente, sobre los hábitos de consumo en la región para determinar el impacto diferenciado de las medidas y regulaciones implementadas hasta ahora, así como el tipo de incentivos que podrían funcionar para generar cambios de comportamiento que resulten en evitar el uso innecesario de productos plásticos. También, es clave generar investigación científica sobre la conexión que existe entre la contaminación plástica y las políticas que se han implementado hasta el momento para encontrar una solución a la misma, así como información sobre los sistemas generales de producción y consumo de la región. Además, es fundamental analizar cómo estos se conectan con relaciones políticas y económicas globales. Otras investigaciones que deben realizarse en la región son aquellas relacionadas con la crisis climática y el ciclo de vida del plástico. Se deben invertir recursos en el estudio del comercio de desechos plásticos en la región del PTO, en especial el comercio ilícito ya alertado por autoridades internacionales.

Por otro lado, dada la amenaza ambiental que constituye la presencia de plásticos, microplásticos y nanoplásticos en los cuerpos de agua de la región, es vital obtener información sobre las concentraciones de estos en los ríos y mares territoriales, en la red alimenticia marina y en los productos pesqueros, con el fin de establecer las rutas de exposición y biodisponibilidad que involucran tanto a los ecosistemas y organismos marinos como a los seres humanos (Andrady, 2017; Li et al., 2015; Rochman et al., 2015; Van Cauwenberghe y Janssen, 2014; Barboza et al., 2018). Los resultados de este tipo de investigaciones se deben utilizar para generar regulaciones con respecto a las concentraciones que afectan a la salud humana y a las estrategias apropiadas de prevención de la contaminación en Costa Rica, Panamá y Colombia.

Literatura citada

360 soluciones verdes (2020). *El problema de la gestión de los residuos sólidos en Costa Rica. 360 soluciones verdes*. Consultado el 3 de enero de 2021. Disponible en: <https://www.360-sv.com/blog/residuos>

Abalansa, S., El Mahrad, B., Vondolia, G., Icely, J. y Newton, A. (2020). The Marine Plastic Litter Issue: A Social-Economic Analysis. *Sustainability*, 12(20): 8677. doi.org/10.3390/su12208677

Acoplásticos (2018). *Bioplásticos: alternativa de desarrollo sostenible. El empaque más conversión*. Consultado el 2 de enero de 2021. Disponible en: <https://www.elempaque.com/temas/Bioplásticos,-alternativa-de-desarrollo-sostenible+126798>

Acoplásticos. (2020). *Plásticos en Colombia*. Disponible en: https://acoplásticos.org/boletines/2020/Pec_2020_2021/PeC_2021.pdf

Acosta, I. y Olivero-Verbel, J. (2015). Microplastic resin pellets on an urban tropical beach in Colombia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(7): 435. doi.org/10.1007/s10661-015-4602-7

Acosta-Coley, I., Duran-Izquierdo, M., Rodríguez-Cavallo, E., Mercado-Camargo, J., Méndez-Cuadro, D. y Olivero-Verbel, J. (2019). Quantification of microplastics along the Caribbean Coastline of Colombia: Pollution profile and biological effects on *Caenorhabditis elegans*. *Marine Pollution Bulletin*, 146(1): 574-583. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.084

Agence France-Presse (2021, enero 15). Seagrass 'Neptune balls' sieve millions of plastic particles from water, study finds. The Guardian. Disponible en: <https://www.theguardian.com/environment/2021/jan/15/seagrass-neptune-balls-sieve-millions-of-plastic-particles-from-water-study-finds>

Alaerts, L., Augustinus, M. y Van Acker, K. (2018). Impact of Bio-Based Plastics on Current Recycling of Plastics. *Sustainability*, 10(5): 1487. doi.org/10.3390/su10051487

Alcaldía de Panamá. (2015) Programa Basura Cero 2015 – 2035. Municipio de Panamá. Disponible en: <https://basuracero.mupa.gob.pa/wp-content/uploads/2018/03/LIBRO-BASURA-CERO-2016-1era-Edicio%CC%81n.pdf>

Alzugaray, L., Martino, M., Beltramino, L., Rowntree, V., Sironi, M. y Uhart, M. (2020). Anthropogenic debris in the digestive tract of a southern right whale (*Eubalaena australis*) stranded in Golfo Nuevo, Argentina. *Marine Pollution Bulletin*, 161(Part A): 111738. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111738

Ambientum (2018). Alarmante contaminación de plásticos en Colombia. Ambientum. Disponible en: <https://www.ambientum.com/ambientum/residuos/contaminacion-plasticos-colombia.asp>

American Chemical Society. (1993). *Leo Hendrick Baekeland and the Invention of Bakelite*. American Chemical Society. Consultado el 8 de noviembre de 2020. Disponible en: <https://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/bakelite.html>

American Chemical Society (2020). Methods for microplastics, nanoplastics and plastic monomer detection and reporting in human tissues. ACS. Consultado el 7 de enero de 2021. Disponible en: <https://www.acs.org/content/acs/en/pressroom/newsreleases/2020/august/micro-and-nanoplastics-detectable-in-human-tissues.html>

American Chemical Society y Gesellschaft Deutscher Chemiker. (1999). *The Foundation of Polymer Science by Hermann Staudinger (1881-1965)*. An International Historic Chemical Landmark. Disponible en: <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/whatischemistry/landmarks/staudingerpolymerscience/foundation-of-polymer-science-by-hermann-staudinger-commemorative-booklet.pdf>

American Chemistry Council. (s.f). *Plastic Packaging Resins*. American Chemistry Council.3. Disponible en: <https://plastics.americanchemistry.com/Plastic-Resin-Codes-PDF/>

ANCON (2017). *Cada día más iniciativas que promueven el uso de menos plástico*. ANCON. Consultado el 17 de enero de 2021. Disponible en: <https://ancon.org/unmundomenoplastico/>

Andrady, A. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(1): 1596–1605. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030

- Andrady, A. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1): 12-22. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082
- Aparicio, M., Hernández, C., Fossatti, L., Castillo, A. y Pino J. (2020). Estimación del descarte de material reciclable doméstico en Chiriquí, Panamá. *Revista de Iniciación Científica*, 6(1): 80-85. doi.org/10.33412/rev-ric.v6.1.2617
- Arias-Andres, M., Rojas-Jimenez, K. y Grossart, H. (2019). Collateral effects of microplastic pollution on aquatic microorganisms: an ecological perspective. *Trends in Analytical Chemistry*, 112: 234-240. doi.org/10.1016/j.trac.2018.11.041
- Arosemena, T. y Del Cid, A. (2016). *Análisis de situación de los residuos en Panamá (Plásticos – Normas y Políticas)*. Recuperado de Fundación MarViva. Fuente inédita - 20 de enero de 2021
- ASTM (2019). *Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities*. ASTM International. Consultado el 3 de enero de 2021. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D6400.htm>
- ASTM (2020). *Standard Practice for Coding Plastic Manufactured Articles for Resin Identification*. ASTM D7611 / D7611M - 20. ASTM, 8(3): 4. doi.org/10.1520/D7611D7611M-20
- Aurisano, N., Huang, L., Canals, L., Jolliet, y O. Fantke, P. (2021). Chemicals of concern in plastic toys. *Environment International*, 146: 106194. doi.org/10.1016/j.envint.2020.106194
- Avio, C., Gorbi, S. y Regoli, F. (2017). Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat. *Marine environmental research*, 128: 2-11. doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.05.012
- Baheti, P. (2020). *How is plastic made? A simple step-by-step explanation*. British Plastics Federation. Disponible en: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/how-is-plastic-made.aspx>
- Baird, A. (2016). *Measuring the Effects of Microplastics on Sponges* (Tesis de maestría). Disponible en: http://researcharchive.vuw.ac.nz/bitstream/handle/10063/6749/thesis_access.pdf?sequence=1
- Bakelite Museum (s.f). *Bakelite-Museum History*. Bakelite Museum. Consultado el 3 de noviembre de 2020. Disponible en: <http://www.bakelitmuseum.de/e/bakges-e.htm>
- Barboza, L., Vethaak, D., Lavorante, B., Lundebye, K. y Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine Pollution Bulletin*, 133(1): 336-348. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.047
- Barreto, R., Bornatowski, H., Fiedler, F., Pontalti, M., da Costa, K., Nascimento, C. y Kotas, J. (2019). Macro-debris ingestion and entanglement by blue sharks (*Prionace glauca* Linnaeus, 1758) in the temperate South Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 145: 214-218. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.025
- Barrett, J., Chase, Z., Zhang, J., Banazak, M., Willis, K., Williams, A., Hardesty, B. y Wilcox, C. (2020). Microplastic Pollution in Deep-Sea Sediments from the Great Australian Bight. *Frontiers in Marine Science*, 7(576170): 10. doi.org/10.3389/fmars.2020.576170
- Basel Convention. (2019). *Basel Convention Plastic Waste Amendments*. COP14. Basel Convention. Consultado el 7 enero de 2021. Disponible en: <http://www.basel.int/Implementation/Plasticwaste/PlasticWasteAmendments/Overview/tabid/8426/Default.aspx>
- Beaumont, N., Aanesen, M., Austen, M., Börger, T., Clark, J., Cole, M., Hooper, T., Lindeque, P., Pascoe, C. y Wyles, K. (2019). Global ecological, social, and economic impacts of marine plastic. *Marine Pollution Bulletin*, 142(1): 189–195. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.022
- Beltrán-Sanahuja, A., Casado-Coy, N., Simó-Cabrera, L. y Sanz-Lázaro, C. (2020). Monitoring polymer degradation under different conditions in the marine environment. *Environmental Pollution*, 259: 113836. doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113836
- Berger, A. (2020). *Tras el fracaso de las Metas de Aichi, necesitamos medidas que impidan una nueva ‘década perdida’ para la biodiversidad*. EqualTimes. Consultado el 7 enero de 2021. Disponible en: <https://www.equaltimes.org/tras-el-fracaso-de-las-metas-de/#.YBlpQej0kv2>
- Bioplastics Magazine (2020). *The global bio-based polymer market in 2019 – A revised view*. Bioplastics Magazine. Consultado el 3 de enero de 2021. Disponible en: <https://www.bioplasticsmagazine.com/en/news/meldungen/20200127-The-global-bio-based-polymer-market-in-2019-A-revised-view.php#:~:text=In%202019%2C%20the%20total%20production,expected%20to%20continue%20until%202024>

- Biosphere (2018). *Is PLA Compostable?* Biosphere. Consultado el 3 de enero de 2021. Disponible en: [https://www.biosphereplastic.com/biodegradableplastic/uncategorized/is-pla-compostable/#:~:text=1\)%20PLA%20is%20not%20biodegradable,except%20on%20very%20rare%20occasions](https://www.biosphereplastic.com/biodegradableplastic/uncategorized/is-pla-compostable/#:~:text=1)%20PLA%20is%20not%20biodegradable,except%20on%20very%20rare%20occasions)
- Blanco, P. (2010, marzo 4). *Plástico predomina entre contaminantes de playas nacionales*. Universidad de Costa Rica. Disponible en: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2010/03/04/plastico-predomina-entre-contaminantes-de-playas-nacionales.html>
- Blanco, P. (2019, febrero 6). *Estudio pionero encuentra residuos de plástico en peces del Pacífico costarricense*. Universidad de Costa Rica. Disponible en: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/02/06/estudio-pionero-encuentra-residuos-de-plastico-en-peces-del-pacifico-costarricense.html>
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia (2009). "Bakelite". Encyclopedia Britannica. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/Bakelite>
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia (2019). "Ivory carving". Encyclopedia Britannica. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <https://www.britannica.com/art/ivory-carving>
- Brooks, A., Jambeck, J. y Mozo-Reyes, E. (2020). *Plastic Waste Management and Leakage in Latin America and the Caribbean*. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Plastic-Waste-Management-and-Leakage-in-Latin-America-and-the-Caribbean.pdf>
- Browne, M., Dissanayake, A., Galloway, T., Lowe, D. y Thompson, R. (2008). Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental Science & Technology*, 42(13): 5026–5031. doi.org/10.1021/es800249a
- Bruck, S. y Ford, A. (2017). Chronic ingestion of polystyrene microparticles in low doses has no effect on food consumption and growth to the intertidal amphipod *Echinogammarus marinus*? *Environmental Pollution*, 233. 1125-1130. doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.015
- Bucknall, D. (2020). Plastics as a materials system in a circular economy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 378: 20190268. dx.doi.org/10.1098/rsta.2019.0268
- Cajamar (s.f.). *El uso de plásticos en agricultura, el caso de los acolchados*. Cajamar. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <https://www.cajamar.es/es/agroalimentario/innovacion/investigacion/agrosostenibilidad/noticias/el-uso-de-plasticos-en-agricultura-el-caso-de-los-acolchados/>
- Calderon, E., Hansen, P., Rodríguez, A., Bletter, M., Syberg, K. y Khan, F. (2019). Microplastics in the Digestive Tracts of Four Fish Species from the Ciénaga Grande de Santa Marta Estuary in Colombia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 230(11): 5-11. doi.org/10.1007/s11270-019-4313-8
- Cámara de Comercio de Bogotá (2019). *Colombia entierra anualmente 2 billones de pesos en plásticos que se pueden reciclar*. Cámara de comercio de Bogotá. Consultado el 2 de enero de 2021. Disponible en: <https://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-de-Comunicacion-Grafica/Noticias/2019/Julio-2019/Colombia-entierra-anualmente-2-billones-de-pesos-en-plasticos-que-se-pueden-reciclar>
- Cámara de Comercio de Guatemala (2010). *Perfil de Mercados del Sector de plásticos en Centroamérica*. Disponible en: <https://www.siicex.gob.pe/siicex/documentosportal/887993922rad86ED7.pdf>
- Cansler, C. (2018). *Styrofoam, a Practical and Problematic Creation*. Science History Institute. Consultado el 12 de noviembre de 2020. Disponible en: <https://www.sciencehistory.org/distillations/styrofoam-a-practical-and-problematic-creation>
- Carbery, M., O'Connor, W. y Thavamani, P. (2018). Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environment International*, 115: 400-409. doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.007
- Caron, A., Thomas, C., Berry, K., Motti, C., Ariel, E. y Brodie, J. (2018). Ingestion of microplastic debris by green sea turtles (*Chelonia mydas*) in the Great Barrier Reef: Validation of a sequential extraction protocol. *Marine Pollution Bulletin*, 127(1): 743-751. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.062
- Cartraud, A., Le Corre, M., Turquet, J. y Tourmetz, J. (2019). Plastic ingestion in seabirds of the western Indian Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 140: 308-314. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.065

Cau, A., Avio, C., Dessi, C., Moccia, D., Pusceddu, A., Regoli, F., Cannas, R. y Follesa, M. (2020). Benthic Crustacean Digestion Can Modulate the Environmental Fate of Microplastics in the Deep Sea. *Environmental Science & Technology*, 54(8): 4886-4892. doi: doi.org/10.1021/acs.est.9b07705

Center for Energy Efficiency (2020). *The origin of the Recycle Symbol*. Disponible en: <https://www.mtsu.edu/cee/3Rs.php>

Cho, R. (2017). *The Truth About Bioplastics*. Earth Institute / Columbia University. Consultado el 2 de enero de 2021. Disponible en: <https://blogs.ei.columbia.edu/2017/12/13/the-truth-about-bioplastics/>

Cho, Y., Shim, W., Jang, M., Han, G. y Hong, S. (2019). Abundance and characteristics of microplastics in market bivalves from South Korea. *Environmental Pollution*, 245: 1107-1116. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.091>

Christiansen, C. (2020). *Gestión de residuos sólidos urbanos en Panamá 2020*. Disponible en: <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/sectores/industria-y-tecnologia/documentos/DOC2020853700.html>

CIEL (2017a). *Fossils, Plastics, & Petrochemical Feedstocks*. Disponible en: <http://www.ciel.org/wp-content/uploads/2017/09/Fueling-Plastics-Fossils-Plastics-Petrochemical-Feedstocks.pdf>

CIEL (2017b). *How fracked gas, cheap oil, and unburnable coal are driving the plastics boom*. Disponible en: <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2017/09/Fueling-Plastics-How-Fracked-Gas-Cheap-Oil-and-Unburnable-Coal-are-Driving-the-Plastics-Boom.pdf>

CIEL (2017c). *Plastic Industry Awareness of the Ocean Plastics Problem*. Disponible en: <http://www.ciel.org/wp-content/uploads/2017/09/Fueling-Plastics-Plastic-Industry-Awareness-of-the-Ocean-Plastics-Problem.pdf>

CIEL (2018). *The Long-Term Prospects for the Plastics Boom*. Disponible en: <http://www.ciel.org/wp-content/uploads/2018/04/Fueling-Plastics-Untested-Assumptions-and-Unanswered-Questions-in-the-Plastics-Boom.pdf>

Clapp, J. (2012). *The Rising Tide Against Plastic Waste: Unpackaging Industry Attempts to Influence the Debate*, In Foote, S. & Mazzolini, E. (Eds.), *Histories of the Dustheap: Waste, Material Cultures, Social Justice*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press. Disponible en: <https://uwaterloo.ca/scholar/jclapp/publications/rising-tide-against-plastic-waste-unpacking-industry-attempts-influence-debate%E2%80%9D>

Client Earth 2021. *The environmental impacts of waste incineration*. Disponible en: <https://www.clientearth.org/latest/latest-updates/stories/the-environmental-impacts-of-wasteincineration/>

Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C. y Galloway, T. (2015). The impact of polystyrene microplastics on feeding, function, and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental Science & Technology*, 49(2): 1130-1137. doi: doi.org/10.1021/es504525u

Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J. y Galloway, T. (2013). Microplastic Ingestion by Zooplankton. *Environmental Science & Technology*, 47(12): 6646-6655. doi: doi.org/10.1021/es400663f

Colmenero, A., Barría, C., Broglio, E. y García-Barcelona, S. (2017). Plastic debris straps on threatened blue shark *Prionace glauca*. *Marine Pollution Bulletin*, 115(1-2): 436-438. doi: doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.011

Comisión Europea. (2019) *Scoping Paper: Biodegradability of plastics in the open environment*. Disponible en: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/research_and_innovation_groups/sam/hlg_sam_scoping_paper_biodegradability.pdf

CONPES 3874 Departamento Nacional de Planeación. (2016). *Colombia: Departamento Nacional de Planeación*. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>

Contraloría General de la República (2018). *Auditoría de desempeño al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y autoridades ambientales en desarrollo de la política para la gestión integral de residuos sólidos*. Disponible en: <https://cda.gov.co/apc-aa-files/33393966363566633933636465376561/informe-auditoria-de-desempeno-residuos-solidos-2014-2018.pdf>

- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Acuerdo de París (2015). París: Naciones Unidas. Disponible en: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish.pdf
- Coto, R. (2019). *Industria plástica en Costa Rica: alternativas amigables con el ambiente y de transformación productiva*. Disponible en: <http://sistemas.procomer.go.cr/DocsSEM/2626DC94-8DBE-4DD6-AB4B-47862FFED436.pdf>
- Cox, K., Covernton, G., Davies, H., Dower, J., Juanes, F. y Dudas, S. (2019). Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science & Technology*, 53(12): 7068-7074. doi.org/10.1021/acs.est.9b01517
- Craggs, G. (2018). *Waste Plastics and Microplastics: Their Effects on the Terrestrial Environment*. *Future Directions International*. Consultado el 7 enero de 2021. Disponible en: <https://www.futuredirections.org.au/publication/waste-plastics-micro-plastics-effects-terrestrial-environment/>
- Crawford, C. y Quinn, B. (2017). *Microplastic Pollutants*. Elsevier Science. doi.org/10.1016/C2015-0-04315-5
- Crooks, N., Parker, H. y Pernetta, A. (2019). Brain food? Trophic transfer and tissue retention of microplastics by the velvet swimming crab (*Necora puber*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 519: 151187. doi.org/10.1016/j.jembe.2019.151187
- da Costa, J., Santos, P., Duarte, A. y Rocha-Santos, T. (2016). (Nano)plastics in the environment – Sources, fates and effects. *Science of The Total Environment*, 566–567(1): 15-26. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.041
- DANE. (2018). *Boletín Técnico. Cuenta Ambiental y Económica de Residuos sólidos*. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuentas-residuos/Bt-Cuenta-residuos-2016p.pdf
- DANE (2020). *Encuesta Mensual Manufacturera con Enfoque Territorial - EMMET*. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/emmet/bol_emmet_octubre_2020.pdf
- Davis, A. (2019). *Which Recycling is Better—Closed or Open Loop?* Granger. Consultado el 8 enero de 2021. Disponible en: <https://www.grangernet.com/closed-open-recycling/#:~:text=Open%20loop%20recycling%20refers%20to,sleeping%20bags%20or%20fleece%20jackets.&text=So%20rather%20than%20completely%20avoiding,to%20going%20into%20the%20trash>
- Davis, H. (2015). *Life and death in the anthropocene: A short history of plastic*. In *Art in the anthropocene: Encounters among aesthetics, politics, environments, and epistemologies*, ed. H. Davis and E. Turpin, 347–358. London: Open Humanities Press. Disponible en: <http://heathermdavis.com/wp-content/uploads/2014/08/Life-and-Death-in-the-Anthropocene.pdf>
- De Blasio, N. y Fallon, P. (2021). Avoiding a Plastic Pandemic, The Future of Sustainability in a Post COVID-19 World. *Sustainable Development*, 1(1): 1-24. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Nicola_De_Blasio/publication/348607832_Avoiding_a_Plastic_Pandemic_-_The_Future_of_Sustainability_in_a_Post_COVID-19_World/links/600752a992851c13fe239411/Avoiding-a-Plastic-Pandemic-The-Future-of-Sustainability-in-a-Post-COVID-19-World.pdf
- de Freytas-Tamura, K. (2017). *Public Shaming and Even Prison for Plastic Bag Use in Rwanda*. The New York Times. Disponible en: <https://www.nytimes.com/2017/10/28/world/africa/rwanda-plastic-bags-banned.html>
- de Souza, A., Lau, C., Till, J., Kloas, W., Lehmann, A., Becker, R. Y Rillig, M. (2018). Impacts of Microplastics on the Soil Biophysical Environment. *Environmental Science & Technology*, 52(17): 9656–9665. doi.org/10.1021/acs.est.8b02212
- Decreto/2019, del 25 de junio por el que se adicionan Las Fracciones IV BIS, VIII Bis, XXIII BIS, XXVI BIS, XVI TER, XXVI QUATER AI Artículo 3 y una fracción XI BIS al Artículo 6; Asimismo, se reforman las fracciones VI del Artículo 3, XI del Artículo 6 y XI BIS del Artículo 25, todas en la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. México: Congreso de la Ciudad de México. Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 120 Bis del 25 de junio del 2019 Disponible en: https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/408ba286c289c8b5f78d4a87d6d5b9b8.pdf

Delvalle, D., Fábrega, J., Olmos, J., Garcés-Ordóñez, O., Amaral, S., Vezzoni, M., de Sá, J.P. y Meigikos, R. (2020). Distribution of Plastic Debris in the Pacific and Caribbean Beaches of Panama. *Air, Soil and Water Research*, 13(1): 2199-2204. doi.org/10.1177/1178622120920268

Departamento de Saneamiento de Nueva York (2017). *Determinación de la reciclabilidad de la espuma de poliestireno para alimentos*. Disponible en: <https://www.paperenterprisesusa.com/assets/File/Foam%20Ban%20Information.pdf>

Desforbes, J., Galbraith, M. y Ross, P. (2015). Ingestion of Microplastics by Zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 69(1): 320–330. doi.org/10.1007/s00244-015-0172-5

DIAN (2020). *Sistema estadístico de comercio exterior. Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales*. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <http://websiex.dian.gov.co/>

Directiva 904/2019 por medio del cual se regula la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente. Unión Europea: Parlamento y Consejo Europeo. Diario Oficial de la Unión Europea 155 del 12 de junio de 2019. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0904&from=ES>

Dudek, K., Cruz, B., Polidoro, B. y Neuer, S. (2020). Microbial colonization of microplastics in the Caribbean Sea. *Limnology and Oceanography Letters*, 5(1): 5-17. doi.org/10.1002/lol2.10141

DuPont. 2021. *Our History*. DuPont. Consultado el 8 de noviembre de 2020. Disponible en: <https://www.dupont.com/about/our-history.html>

EFE (2018a, septiembre 24). *Panamá acude en masa a salvar sus playas de la basura y el plástico*. EFE. Disponible en: <https://www.efe.com/efe/america/cronicas/panama-acude-en-masa-a-salvar-sus-playas-de-la-basura-y-el-plastico/50000490-3759875>

EFE (2018b, junio 14). *Reciclaje entusiasmo en Panamá pese a poca conciencia de peligro del plástico*. EFE. Disponible en: <https://www.efeverde.com/noticias/panama-reciclaje-plasticos/>

El Comercio (2020, octubre 18). *El uso de bolsas plásticas aumentó por la pandemia*. El Comercio. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/tendencias/bolsas-plasticas-aumento-pandemia-coronavirus.html>

El Mundo. (2018, mayo 16). *Costa Rica recicla 264 toneladas de residuos al día*. El Mundo. Disponible en: <https://www.elmundo.cr/costa-rica/costa-rica-recicla-264-toneladas-de-residuos-al-dia-%EF%BB%BF/>

El Mundo (2019a, octubre 31). *Estudio de la UCR señala que 68 % de los microplásticos encontrados en Jacó son estereofón*. El Mundo. Disponible en: <https://www.elmundo.cr/costa-rica/estudio-de-la-ucr-senala-que-68-de-los-microplasticos-encontrados-en-jaco-son-estereofon/?fbclid=IwAR3XLSIK2Nglh4iwq-ONy6QxU6Jfip7ZB9oF-4P5ODqrj-FcZXJOuG2ioQU>

El Mundo (2019b, abril 17). *Campaña busca disminuir el consumo de plásticos de un solo uso*. El Mundo. Disponible en: <https://www.elmundo.cr/costa-rica/campana-busca-disminuir-el-consumo-de-plasticos-de-un-solo-uso/>

El Tiempo (2021, enero 26). *Hallan microplásticos en caracol pala del Caribe, dice U. Nacional*. El Tiempo. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/hallan-microplasticos-en-caracol-pala-del-caribe-dice-u-nacional-562778>

Ellen MacArthur Foundation (2019). *Circular Economy Concept Overview*. Ellen MacArthur Foundation. Consultado el 8 enero de 2021. Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept>

Ellen MacArthur Foundation (2020). *NGOs and businesses call for UN treaty on plastic pollution*. Ellen MacArthur Foundation. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <https://www.worldwildlife.org/press-releases/ngos-and-businesses-call-for-un-treaty-on-plastic-pollution>

Emadian, S., Onay, T. y Demirel, B. (2017). Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*, 59: 526-536. doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.006

Eriksen, M., Lebreton, L., Carson, H., Thiel, M., Moore, C., Borro, J., Galgani, F., Ryan, P. y 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): 15. doi.org/10.1371/journal.pone.0111913

Eriksen, M., Lusher, A., Nixon, M. y Wernery, U. (2021). The plight of camels eating plastic waste. *Journal of Arid Environments*, 185(104374): e111913. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104374

- European Bioplastics (2019). *Bioplastics: Facts and Figures*. Disponible en: https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf
- European Bioplastics y Nova Institute (2019). *Bioplastics Market data 2019*. Disponible en: https://docs.european-bioplastics.org/publications/market_data/Report_Bioplastics_Market_Data_2019.pdf
- Farrell, P. Nelson, K. (2013). Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental Pollution*, 177: 1-3. doi.org/10.1016/j.envpol.2013.01.046
- FAS Panamá - Fundación Acción Social por Panamá (2020). *Abordando la gestión de desechos sólidos y material reciclado*. Presentación. Café Científico SENACYT. Disponible en: <https://docplayer.es/187518802-Abordando-la-gestion-de-los-desechos-solidos-y-material-reciclado.html>
- Feldberg, B. (2018). *Macro implications of microplastics: a comparative study of microplastic distribution in Bahía Almirante, Bocas del Toro, Panama*. Disponible en: https://digitalcollections.sit.edu/isp_collection/2943/?utm_source=digitalcollections.sit.edu%2Fisp_collection%2F2943&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- Flaws, J., Damdimopoulou, P., Patisaul, H., Gore, A., Raetzman, L. y Vandenberg, L. (2020). *Plásticos, Salud y Perturbadores Endocrinos*. Disponible en: https://www.endocrine.org/-/media/endocrine/files/topics/edc_guide_2020_v1_6hqs.pdf
- Franklin-Wallis, O. (2019, agosto 17). *Plastic recycling is a myth: what really happens to your rubbish? The Guardian*. Disponible en: <https://www.theguardian.com/environment/2019/aug/17/plastic-recycling-myth-what-really-happens-your-rubbish>
- Franzellitti, S. Canesi, L. Auguste, M. Wathsala, R. Fabbri, E. (2019). Microplastic exposure and effects in aquatic organisms: a physiological perspective. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 68: 37-51. doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.009
- Freinkel, S. (2011a). *A Brief History of Plastic's Conquest of the World*. Scientific American. Consultado el 1 de noviembre de 2020. Disponible en: <https://www.scientificamerican.com/article/a-brief-history-of-plastic-world-conquest/>
- Freinkel, S. (2011b). *Plastic: A Toxic Lovestory*. Minneapolis: Graywolf Press.
- Frontline (2020). *Plastic Wars* [documental de investigación]. Estados Unidos: Frontline. Disponible en: <https://www.pbs.org/wgbh/frontline/film/plastic-wars/>
- Fundación Costa Recicla (2019). *Drive Thru*. Costa Recicla. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <https://costarecicla.org/drive-thru/>
- Gabriel, A. (Productor). (2018). *La historia del plástico I* Nat Geo [Video]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=Cz-OZyK9M_Q
- Galgani, F., Hanke, G. y Maes, T. (2015). Global distribution, composition and abundance of marine litter. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-16510-3_2
- Gall, S. y Thompson, R. (2015). The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin*, 92(1-2): 170-179. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041
- Garcés-Ordóñez, O., Castillo-Olaya, V., Granados-Briceño, A., Blandón, L. y Espinosa, L. (2019). Marine litter and microplastic pollution on mangrove soils of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 145: 455-462. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.058
- Garcés-Ordóñez, O., Mejía-Esquivia, K., Sierra-Labastidas, T., Patiño, A., Blandón, L. y Espinosa, L. (2020). Prevalence of microplastic contamination in the digestive tract of fishes from mangrove ecosystem in Cispata, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 154: 111085. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111085
- García, S. (2009). Referencias históricas y evolución de los plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 10(1): 71-80. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3694957>
- García, Y., Meza, J., González, R. y Córdova, J. (2013). Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(1): 77-15. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v29n1/v29n1a7.pdf>
- GESAMP (2019). *Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean*. Disponible en: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00585/69677/67545.pdf>
- Geyer, R. (2020). A Brief History of Plastics. En *Streit-Bianchi, M. Cimadevila, M. Trettnak, W.* (Eds.), *Mare Plasticum - The Plastic Sea* (pp. 31-47). Switzerland: Springer International Publishing.

- Geyer, R. Jambeck, J. Lavender, K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7): e1700782. doi. [org/10.1126/sciadv.1700782](https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782)
- Gilbert, J., Ricci, M., Giavini, M., Efremenko, B. y Tang, J. (2015). *An overview of compostability of biodegradable plastics and its implications for the collection and treatment of organic wastes*. Disponible en: https://www.iswa.org/index.php?eID=tx_iswaknowledgebase_download&documentUid=4441
- Glenn, S. (2020). *Plastics in Early Aircraft: Enclosing the Cockpit*. National Center for preservation Technology and Training. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <https://www.ncptt.nps.gov/blog/plastics-in-early-aircraft-enclosing-the-cockpit-2/>
- Goldstein, M., Rosenberg, M. y Cheng, L. (2012). Increased oceanic microplastic debris enhances oviposition in an endemic pelagic insect. *Biology Letters*, 8(5): 817-820. doi. [org/10.1098/rsbl.2012.0298](https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0298)
- González-Aravena, M. (2018). *Microplásticos y Nanoplásticos en los Polos: detección y evaluación de su Impacto en Organismos Marinos*. En: Mario Jaime y Pablo Hernández-Almaraz, Ed. Bioacumulación y transferencia de metales y contaminantes emergentes a través de las cadenas tróficas marinas. Samsara, 132-148. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327581574_MICROPLASTICOS_Y_NANOPLASTICOS_EN_LOS_POLOS_DETECCION_Y_EVALUACION_DE_SU_IMPACTO_EN_ORGANISMOS_MARINOS
- Goss, H., Jaskiel, J. y Rotjan, R. (2018). *Thalassia testudinum* as a potential vector for incorporating microplastics into benthic marine food webs. *Marine Pollution Bulletin*, 135(1): 1085-1089. doi. [org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.024](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.024)
- GQSP (2020). *Diagnóstico de requisitos y brechas de calidad y sostenibilidad - Sector Plástico*. Disponible en: https://gqspcolombia.org/wp-content/uploads/2020/08/Diagn%C3%B3stico-sector-pl%C3%A1stico_VF.pdf#new_tab
- Grajales, I. (2018, junio 5). *Costa Rica tira al mar 15 camiones de plástico por día*. Hoy en el TEC. Disponible en: <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2018/06/05/costa-rica-tira-mar-15-camiones-plastico-dia>
- Grand View Research (2020). *Plastic Market Size, Share & Trends Report Plastic Market Size, Share & Trends Analysis Report by Product (PE, PP, PU, PVC, PET, Polystyrene, ABS, PBT, PPO, Epoxy Polymers, LCP, PC, Polyamide), By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027*. Grand View Research. Consultado el 2 de enero de 2021. Disponible en: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-plastics-market>
- Grau, J., Terraza, H., Rodríguez, V., Rihm A. y Sturzenegger, G. (2015). *Solid waste management in Latin America and the Caribbean*. Disponible en: <https://publications.iadb.org/en/solid-waste-management-latin-america-and-caribbean>
- Gray, A. y Weinstein, J. (2017). Size and shape dependent effects of microplastic particles on adult daggerblade grass shrimp, *Palaemonetes pugio*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(11): 3074-3080. doi. [org/10.1002/etc.3881](https://doi.org/10.1002/etc.3881)
- Greenpeace (2004). *Legado Químico: contaminación en la infancia*. Disponible en: <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/contaminacion/legado-quimico-contaminacion.pdf>
- Greenpeace (2018). *Colombia, mejor sin plásticos*. Disponible en: http://greenpeace.co/pdf/reporte_plasticos.pdf
- Greenpeace (2019). *Situación actual de los plásticos en Colombia y su impacto en el medio ambiente*. Disponible en: http://greenpeace.co/pdf/2019/gp_informe_plasticos_colombia_02.pdf
- Greenpeace. (2020). *“No hay evidencia científica de que los plásticos de un solo uso sean la opción más segura para mitigar el contagio del COVID-19”*. Greenpeace. Consultado el 3 de enero de 2021. Disponible en: <https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/issues/contaminacion/no-hay-evidencia-cientifica-de-que-los-plasticos-de-un-solo-uso-sean-la-opcion-mas-segura-para-mitigar-el-contagio-del-covid-19/>
- Greenpeace (s.f.). *Éxito: libera la fruta*. Greenpeace. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <https://www.greenpeace.org/colombia/involucrate/colombia-mejor-sin-plasticos/>
- Griffith, A. y Gobler, C. (2020). Harmful algal blooms: A climate change co-stressor in marine and freshwater ecosystems. *Harmful Algae*, 91: 101590. doi. [org/10.1016/j.hal.2019.03.008](https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.03.008)

- Groh, K., Backhaus, T., Carney-Almroth, B., Geueke, B., Inostroza, P., Lennquist, A., Leslie, H., Maffini, M., Slunge, D., Trasande, L., Warhurst, M. y Muncke, J. (2019). Overview of known plastic packaging-associated chemicals and their hazards. *Science of The Total Environment*, 651(2): 3253-3268. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.015
- Guo, X. y Wang, J. (2019). The chemical behaviors of microplastics in marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 142: 1-14. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.019
- Gutow, L., Eckebe, A., Giménez, L. y Saborowski, R. (2015). Experimental Evaluation of Seaweeds as a Vector for Microplastics into Marine Food Webs. *Environmental Science & Technology*, 50(2): 915–923. doi.org/10.1021/acs.est.5b02431
- Hahladakis, J., Velis, C., Weber, R., Lacovidou, E. y Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives presents in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal, and recycling. *Journal of Hazardous Materials*, 344(15): 179-199. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014
- Hämer, J., Gutow, L., Köhler, A. y Saborowski, R. (2014). Fate of microplastics in the marine isopod *Idotea emarginata*. *Environmental Science & Technology*, 48(22): 13451–13458. doi.org/10.1021/es501385y
- HEAL (2020). *Turning the plastic tide: New HEAL report puts the spotlight on how chemicals in plastic are putting our health at risk*. Disponible en: <https://www.env-health.org/turning-the-plastic-tide-new-heal-report-puts-the-spotlight-on-how-chemicals-in-plastic-are-putting-our-health-at-risk/>
- Hinsley, N. (2015). *The History of Polyethylene. Global Plastics Sheeting*. Consultado el 8 de noviembre de 2020. Disponible en: <https://www.globalplasticsheeting.com/our-blog-resource-library/bid/23095/The-History-of-Polyethylene>
- Hoja de Ruta/2020 por medio del cual se regula la prohibición de los plásticos de un solo uso. Tailandia: El Gabinete. Del 17 de abril del 2019, Disponible en: https://thailand.prd.go.th/1700/ewt/thailand/ewt_news.php?nid=7831&filename=index
- Hook, P. y Heimlich, J. (2017). *A History of Packaging*. Ohio State University. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/cdfs-133>
- Horn, D., Miller, M., Anderson, S. y Steele, C. (2019). Microplastics are ubiquitous on California beaches and enter the coastal food web through consumption by Pacific mole crabs. *Marine Pollution Bulletin*, 139: 231-237. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.039
- Hosler, D., Burkett, S. y Tarkanian, M. (1999). Prehistoric polymers: Rubber processing in ancient Mesoamerica. *Science*, 284(5422): 1988–1991. doi.org/10.1126/science.284.5422.1988
- Hundertmark, T., McNally, C., Simons T. y Vanthournout, H. (2018). *No time to waste: What plastics recycling could offer*. McKinsey & Company. Consultado el 9 enero de 2021. Disponible en: <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/no-time-to-waste-what-plastics-recycling-could-offer#>
- Hurley, R., Woodward, J. y Rothwell, J. (2017). Ingestion of microplastics by freshwater *Tubifex worms*. *Environmental Science & Technology*, 51(21): 12844–12851. doi.org/10.1021/acs.est.7b03567
- Hurley, R., Horton, A., Lusher, A. y Nizzetto, L. (2020). Chapter 7 - Plastic waste in the terrestrial environment. En Letcher, T. (Eds.), *Plastic Waste and Recycling* (pp. 163-193). eBook: Academic Press.
- Hurtado, J., Fragozo, L., Montaña, O., Oviedo, M. y Saavedra, L. (2019, octubre). *Detección preliminar de simbiosis y microplásticos en jaibas azul y roja (Callinectes sapidus y C. bocourti) de la Ciénaga Grande de Santa Marta*. Ponencia oral presentado en el XVIII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar (SENALMAR), Barranquilla, Colombia. Disponible en: <http://www.cco.gov.co/docs/senalmar/memorias/memorias-2019.pdf>
- Im, J., Joo, S., Lee, Y., Kim, B. y Kim, T. (2020). First record of plastic debris ingestion by a fin whale (*Balaenoptera physalus*) in the sea off East Asia. *Marine Pollution Bulletin*, 159: 111514. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111514
- INEC. (2020). Sistema de Consulta de Estadísticas de Comercio Exterior. Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). Consultado el 17 enero de 2021. Recuperado de https://www.inec.gob.pa/COMERCIO_EXT/#:~:text=El%20Sistema%20de%20Consulta%20de%20Estad%20C3%ADsticas%20de%20Comercio%20Exterior%2C%20brinda,destino%20y%20seg%20C3%BA%20inciso%20arancelario

- INECO y Autoridad de Aseo (2017). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2017-2027*. Disponible en: http://aaud.gob.pa/plangestion/Docs/ANEXOS/20170731_E%201.3.3.3.5_Propuesta%20Nuevo%20Modelo%20de%20Gestion_v3.pdf
- Interpol (2020). *INTERPOL STRATEGIC ANALYSIS REPORT: Emerging criminal trends in the global plastic waste market since January 2018*. Disponible en: <https://www.interpol.int/es/Noticias-y-acontecimientos/Noticias/2020/Un-informe-de-INTERPOL-alerta-del-drastico-aumento-de-los-delitos-relacionados-con-los-residuos-plasticos>
- Invierta en Colombia (s.f.). *Industria petroquímica. Invierta en Colombia*. Consultado el 3 de enero de 2021. Disponible en: <https://investincolombia.com.co/es/sectores/manufacturas/industria-petroquimica>
- Iñiguez, M., Conesa, J. y Fullana, A. (2017). Microplastics in Spanish Table Salt. *Scientific Reports*, 7: 8620. doi.org/10.1038/s41598-017-09128-x
- Jacobsen, J., Massey, L. y Gulland, F. (2010). Fatal ingestion of floating net debris by two sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Marine Pollution Bulletin*, 60(5): 765-767. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.03.008
- Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. y Lavender, K. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223): 768-771. doi.org/10.1126/science.1260352
- Jang, Y., Hong, S., Lee, J., Lee, M. y Shim, W. (2014). Estimation of lost tourism revenue in Geoje Island from the 2011 marine debris pollution event in South Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1): 49-54. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.021
- Jang, M., Shim, W., Han, G., Song, Y. y Hong, S. (2018). Formation of microplastics by polychaetas (*Marphysa sanguinea*) inhabiting expanded polystyrene marine debris. *Marine Pollution Bulletin*, 131(Part A): 365-369. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.017
- Jasso-Gastinel, C., Soltero-Martinez, J. y Mendizábal, E. (2017). Introduction: modifiable characteristics and applications. En: Carlos F. Jasso-Gastinel y José M. Kenny, Ed. *Modification of polymer properties*. William Andrew Publishing, pp. 1-21. doi.org/10.1016/B978-0-323-44353-1.00001-4
- Jemec, A., Horvat, P., Kunej, U., Bele, M. y Krzan, A. (2016). Uptake and effects of microplastic textile fibers on freshwater crustacean *Daphnia magna*. *Environmental Pollution*, 219: 201-209. doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.037
- Karasik, R., Vegh, T., Diana, Z., Bering, J., Caldas, J., Pickle, A., Rittschof, D. y Virdin, J. (2020). 20 Years of Government Responses to the Global Plastic Pollution Problem: The Plastics Policy Inventory. Disponible en: https://nicholasinstitute.duke.edu/sites/default/files/publications/20-Years-of-Government-Responses-to-the-Global-Plastic-Pollution-Problem-New_1.pdf
- Karbalaei, S., Golieskardi, A., Binti, H., Abdulwahid, S., Hanachi, P., Walker, T. y Karami, A. (2019). Abundance and characteristics of microplastics in commercial marine fish from Malaysia. *Marine Pollution Bulletin*, 148: 5-15. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.072
- Kay, K. (2020, enero 5). *Styrofoam Inventor Got His Start in Gardner*. *The Gardner News*. Disponible en: <https://gardnernews.com/2020/01/05/Styrofoam-Inventor-Got-His-Start-In-Gardner/>
- Keats, J. (2018). *How Teflon Went from Wartime to Dinner Time*. *Wired*. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <https://www.wired.com/story/teflon-polytetrafluoroethylene-history-pans/>
- Keep America Beautiful (1968). *Who Litters and Why: Summary of Survey Findings Concerning Public Awareness and Concern about the Problem of Litter*. New York: Keep America Beautiful
- Keswani, A., Oliver, D., Gutierrez, T. y Quilliam, R. (2016). Microbial hitchhikers on marine plastic debris: human exposure risks at bathing waters and beach environments. *Marine Environmental Research*, 118: 10-19. doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.04.006
- Kirstein, I., Kirmizi, S., Wichels, A., Garin-Fernandez, A., Erler, R., Löder, M. y Gerdt, G. (2016). Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. *Marine Environmental Research*, 120: 1-8. doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.07.004
- Kistler, A. y Muffett, C, Ed. (2019). *Plastic & Climate: The Hidden Costs of a Plastic Planet*. Disponible en: <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/05/Plastic-and-Climate-FINAL-2019.pdf>

Koch, H. y Calafat, A. (2009). Human body burdens of chemicals used in plastic manufacture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364(1526): 2063–2078. doi.org/10.1098/rstb.2008.0208

Kooi, M., Reisser, J., Slat, B., Ferrari, F., Schmid, M., Cunsolo, S., Brambini, R., Noble, K., Sirks, L., Linders, T., Schoeneich-Argent, R. y Koelmans, A. (2016). The effect of particle properties on the depth profile of buoyant plastics in the ocean. *Scientific Reports*, 6: 33882. doi.org/10.1038/srep33882

Kubowicz, S. y Booth, A. (2017). Biodegradability of plastics: challenges and misconceptions. *Environmental Science & Technology*, 51(21): 12058-12060. doi.org/10.1021/acs.est.7b04051

Kühn, S., Bravo, E. y van Franeker, J. (2015). Deleterious Effects of Litter on Marine Life. En Bergmann, M. Gutow, L. Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 75-116). Switzerland: Springer Cham.

Lavender, K (2017). Plastics in the marine environment. *Annual Review of Marine Science*, 9: 205-229. doi.org/10.1146/annurev-marine-010816-060409

Law, K., Starr, N., Siegler, T., Jambeck, J., Mallos, N. y Leonard, G. (2020). The United States' contribution of plastic waste to land and ocean. *Science Advances*, 6(44): eabd0288. doi.org/10.1126/sciadv.abd0288

Lebreton, L., van der Zwet, J., Damsteeg, J., Slat, B., Andrady, A. y Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*, 8: 15611. doi.org/10.1038/ncomms15611

Ley 1/2018, de 06 de enero, que adopta medidas para promover el uso de bolsas reutilizables en establecimientos comerciales. Gaceta Oficial núm. 28448-B del 19 de enero de 2018. Disponible en: https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28448_B/65720.pdf

Ley 5/2021 por medio de la cual se regulan los empaques plásticos. Alemania: Parlamento Federal. Diario Oficial 45 de febrero del 2021. Disponible en: <https://perma.cc/QSJ4-GYP3>

Ley 6/ 2018 de 6 de febrero, que establece la gestión integrada de residuos sólidos en las instituciones públicas. Gaceta Oficial núm. 28462-B del 8 de febrero de 2018. Disponible: https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28462_B/66000.pdf

Ley 8/2020 por medio de la cual se prohíben algunos plásticos de un solo uso. Belice: Asamblea Nacional de Belice. Disponible en: <https://doe.gov.bz/download/pollution-from-plastics-regulations-2020/>

Ley 8/2018 por medio de la cual se regulan los desechos no biodegradables. Grenada: Gobierno de Grenada. Disponible en: <https://gov.gd/sites/hop/files/Acts-SROs/2018/Act%209%20of%202018%20Non-Biodegradable%20Waste%20Control.pdf>

Ley 11/2019 por medio de la cual se controlan los plásticos desechables. Barbados: Parlamento de Barbados. Gaceta Oficial, del 29 de marzo del 2019. Disponible en: https://www.barbadosparliament.com/uploads/document/8dfda40c3ffafef35_aaae98691f50536.pdf

Ley 17/2019 por medio de la cual se regula a la prohibición de la fabricación, importación, uso y venta de bolsas de plástico y artículos plásticos de un solo uso. Kenia: Parlamento. Gaceta Oficial 37 del 23 de setiembre de 2019. Disponible en: https://elaw.org/system/files/attachments/publicresource/Law_relating_to_the_prohibition_of_manufacturing_importation_use_and_sale_of_plastic_carry_bags.pdf

Ley 18/2019 por medio de la cual se regulan las microperlas. Irlanda del Norte. Del 12 de febrero de 2019. Disponible en <https://www.legislation.gov.uk/nisr/2019/18/contents/made>

Ley 33/2018, de 30 de mayo, que establece la política basura cero y su Marco de Acción para la Gestión Integral de Residuos y dicta otras disposiciones. Gaceta Oficial núm. 28537-C del 31 de mayo de 2018. Disponible en: https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28537_C/67718.pdf

Ley 33/1999, por medio de la cuál se regula la ley de protección ambiental. Canadá: Palamento de Canadá. Disponible en: <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/c-15.31/page-1.html#h-63244>

Ley 38/2019 por medio de la cual se prohíben los plásticos de un solo uso y las bolsas de plástico no biodegradable, oxobiodegradable y bolsas de plástico de un solo uso biodegradables. Bahamas: Parlamento de Bahamas. Gaceta Oficial de la Autoridad, del 20 de diciembre del 2019. Disponible en: http://laws.bahamas.gov.bs/cms/images/LEGISLATION/PRINCIPAL/2019/2019-0038/EnvironmentalProtectionControlofPlasticPollutionAct2019_1.pdf

Ley 47/2019 por medio de la cual se regula la conservación de la vida silvestre. Kenia: Parlamento. Gaceta Oficial 72 de junio de 2019. Disponible en: http://kenyalaw.org/kenya_gazette/gazette/notice/202209/

Ley 161/2722/2018 por medio de la cual se regula la prohibición progresiva de uso de utensilios desechables de plástico de acuerdo con los objetivos ambientales. España: Congreso de los Diputados. Boletín Oficial 282 del 16 de enero de 2018. Disponible en: https://www.congreso.es/public_oficiales/L12/CONG/BOCG/D/BOCG-12-D-282.PDF

Ley 162/2018 por medio de la cual se regulan las microperlas. Escocia. Del 17 de mayo del 2018. Disponible en: <https://www.legislation.gov.uk/ssi/2018/162/contents/made>

Ley 187/2020, de 2 de diciembre, que regula la reducción y el reemplazo progresivo de los plásticos de un solo uso. Gaceta Oficial núm. 29167_B del 2 de diciembre de 2020. Disponible en: https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29167_B/82069.pdf

Ley 270/2018 por medio de la cual se regula la minimización de la generación de desechos de bolsas plásticas. Nueva Zelanda: Parlamento. Del 17 de diciembre de 2018. Disponible en: <https://www.legislation.govt.nz/regulation/public/2018/0270/6.0/whole.html>

Ley 394/2019 por medio de la cual se regula la prohibición de bolsas de plástico de un solo uso. Tanzania: Asamblea Nacional. Gaceta Oficial 20 del 17 de mayo de 2019. Disponible en: <https://fbattorneys.co.tz/wp-content/uploads/2019/05/GN-394-of-2019-The-Prohibition-Of-Plastic-Carries-Bags-Regulations-2019.pdf>

Ley 760/2018 por medio de la cual se regula por medio de la cual se regulan las microperlas. Gales. Del 19 de junio del 2019. Disponible en <https://www.legislation.gov.uk/wsi/2018/760/contents/made>

Ley 971/2020 por medio de la cual se regulan las pajillas, mezcladores y aplicadores. Inglaterra. Del 10 de setiembre del 2020. Disponible en: <https://www.legislation.gov.uk/uksi/2020/971/introduction/made>

Ley 1312/2017 por medio de la cual se regulan las microperlas. Inglaterra. Del 19 de diciembre del 2017. Disponible en: <https://www.legislation.gov.uk/uksi/2017/1312/introduction/made>

Ley 1451/2019 por medio del cual se regula la prohibición de ciertos productos plásticos de un solo uso. Francia: Asamblea Nacional. Del 24 de diciembre del 2019. Disponible en: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000039675665/>

Ley 9786/2019 por medio de la cual se regula la prevención de la contaminación por plásticos. Costa Rica: Asamblea Legislativa. Gaceta Oficial Alcance 272 de la Gaceta 233, del 6 de diciembre del 2019. Disponible en: https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2019/12/06/ALCA272_06_12_2019.pdf

Ley 9703/2019 por medio de la cual se prohíbe la importación y comercialización de los empaques de poliestireno expandido. Costa Rica: Asamblea Legislativa. Gaceta Oficial Alcance 176 de la Gaceta 147, del 7 de agosto del 2019. Disponible en: https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2019/08/07/ALCA176_07_08_2019.pdf

Ley 19655/2018 por medio de la cual se regula el uso sustentable de bolsas plásticas. Uruguay: Poder Legislativo. Diario Oficial 30 del 3 de setiembre del 2018. Disponible en: <https://legislativo.parlamento.gub.uy/temporales/docu9871483031665.htm>

Ley 21100/2018 por medio de la cual se prohíbe la entrega de bolsas plásticas de comercio en todo el territorio nacional. Chile: Congreso Nacional de Chile. Diario Oficial del 3 de agosto del 2018. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1121380>

Ley 30884/2018 por medio de la cual se regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables. Perú: Congreso de la República. Diario Oficial del 19 de diciembre del 2018. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/1122664-30884>

Ley SN/2020a por medio de la cual se regula la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de Un Solo Uso. Ecuador: Asamblea Nacional. Registro Oficial 354 tercer suplemento del 21 de diciembre de 2020. Disponible en: <https://www.derechoecuador.com/registro-oficial/2020/12/registro-oficial-no354-lunes-21-de-diciembre-de-2020-tercer-suplemento>

Ley SN/2020b. por medio de la cual se regulan los plásticos de un solo uso y otros productos de plásticos. Australia del Sur: Parlamento. Gaceta Oficial 12 del 25 de febrero de 2021. Disponible en: https://governmentgazette.sa.gov.au/sites/default/files/public/documents/gazette/2021/February/2021_012.pdf

Li, D., Shi, Y., Yang, L., Xiao, L., Kehoe, D., Gun'ko, Y., Boland, J. y Wang, J. (2020). Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation. *Nature Food*, 1: 746–754. doi.org/10.1038/s43016-020-00171-y

- Li, J., Yang, D., Li, L., Jabeen, K. y Shi, H. (2015). Microplastics in commercial bivalves from China. *Environmental Pollution*, 207: 190-195. doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.018
- Li, J., Lusher, A., Rotchell, J., Company, S., Turra, A., Brâte, I., Sun, C., Shahadat, M., Li, Q., Kolandhasamy, P. y Shi, H. (2019). Using mussel as a global bioindicator of coastal microplastic pollution. *Environmental Pollution*, 244: 522-533. doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.032
- Lima, L. (2020, octubre 1). *Conflicto de la basura entre Honduras y Guatemala: el "río de desechos" que enfrenta otra vez a ambos países*. BBC. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-54366038>
- Loayza, D. (2019). *Avances Y Lecciones Aprendidas Del Plan Piloto Del Programa Basura Cero*. Informe de resultados. PNUD. . Disponible en: https://www.pa.undp.org/content/dam/panama/docs/Documentos_2018/undp-pa-avancesbasuracero.pdf
- Lu, Y., Zhang, Y., Deng, Y., Jiang, W., Zhao, Y., Geng, J., Ding, L. y Ren, H. (2016). Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish (*Danio rerio*) and toxic effects in liver. *Environmental Science & Technology*, 50(7): 4054-4060. doi.org/10.1021/acs.est.6b00183
- Lucia, C. (2019). *¿Qué tan «ecológico» es realmente el filamento PLA?*. 3D Natives. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/ecologico-realmente-filamento-pla-230720192/>
- Maaß, S., Daphi, D., Lehmann, A. y Rillig, M. (2017). Transport of microplastics by two collembolan species. *Environmental Pollution*, 225: 456–459. doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.009
- MacFarlane, R., Burzynska-Hernandez, O. y Jennings, C. (2020). *New Potential Treaty on Marine Litter and Microplastics: What You Need to Know*. Crowell Moring. Consultado el 3 de enero de 2021. Disponible en: <https://www.crowell.com/NewsEvents/AlertsNewsletters/all/New-Potential-Treaty-on-Marine-Litter-and-Microplastics-What-You-Need-to-Know>
- Magara, G., Concetta, A., Syberg, K. y Khan, F. (2018). Single contaminant and combined exposures of polyethylene microplastics and fluoranthene: accumulation and oxidative stress response in the blue mussel, *Mytilus edulis*. *Journal of Toxicology and Environmental*, 81(16): 761-773. doi.org/10.1080/15287394.2018.1488639
- Marea Verde (2019). B.O.B. *Barrera o basura*. Marea Verde Panamá. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <https://www.mareaverdepanama.org/proyecto-5>
- Martínez, M. (2020). *Microplásticos, ¿el 'pan de cada día' de los peces?* *Pesquisa Javeriana*. Consultado el 14 enero de 2021. Disponible en: <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/microplasticos-el-pan-de-cada-dia-de-los-peces/>
- Masó, M., Garcés, E., Pagés, F. y Camp, J. (2003). Drifting plastic debris as a potential vector for dispersing Harmful Algal Bloom (HAB) species. *Scientia Marina*, 67(1): 107-111. Disponible en: <http://scientiamarina.revistas.csic.es/index.php/scientiamarina/article/view/459/471>
- Mattsson, K., Hansson, L. y Cedervall, T. (2015). Nano-plastics in the aquatic environment. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 17(10) : 1712-1721. doi.org/10.1039/C5EM00227C
- McVeigh, K. (2020, noviembre 16). *Global treaty to tackle plastic pollution gains steam without US and UK*. The Guardian. Disponible en: <https://www.theguardian.com/environment/2020/nov/16/us-and-uk-yet-to-show-support-for-global-treaty-to-tackle-plastic-pollution>
- Meikle, J. (1995). *American Plastic: A Cultural History*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press. <https://www.worldcat.org/title/american-plastic-a-cultural-history/oclc/32389743>
- Ministerio de Ambiente de Chile (2019). *Ministra hace balance de la ley de bolsas plásticas y entrega alternativas reutilizables a peatones*. Disponible en: <https://mma.gob.cl/ministra-schmidt-hace-balance-de-la-ley-de-bolsas-plasticas-y-entrega-alternativas-reutilizables-a-peatones/>
- Ministerio de Ambiente de Panamá (2020). *Borrador Plan de acción nacional de basura marina 2021- 2026*. Disponible en: <https://www.miambiente.gob.pa/download/borrador-plan-de-accion-nacional-de-basura-marina/>
- Ministerio de Salud Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía, y PNUD (2017). *Estrategia nacional para sustituir el consumo de plásticos de un solo uso por alternativas renovables y compostables*. Disponible en: <http://estrategia.zonalibredeplastico.org/sobre-la-estrategia>
- Ministerio de Salud Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía, y PNUD. (2017). *Estrategia nacional para sustituir el consumo de plásticos de un solo uso por alternativas renovables y compostables*. Disponible en: <http://estrategia.zonalibredeplastico.org/sobre-la-estrategia>

Mucientes, G. y Queiroz, N. (2019). Presence of plastic debris and retained fishing hooks in oceanic sharks. *Marine Pollution Bulletin*, 143: 6-11. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.028

Mulder, K. y Knot, M. (2001). PVC plastic: a history of systems development and entrenchment. *Technology in Society*, 23(2): 265-286. [doi.org/10.1016/S0160-791X\(01\)00013-6](https://doi.org/10.1016/S0160-791X(01)00013-6)

Mülhaupt, R. (2004). Hermann Staudinger and the Origin of Macromolecular Chemistry. *Angewandte Chemie International Edition*, 43(9): 1054-1063. doi.org/10.1002/anie.200330070

Myers, P. (2020). Ocean plastic: How recycling creates tomorrow's problems. *Environmental Health News*. Consultado el 22 enero de 2021. Disponible en: <https://www.ehn.org/ocean-plastic-recycling-2645268353.html>

Narancic, T., Verstichel, S., Chaganti, S., Morales-Gamez, L., Kenny, S., De Wilde, B., Padamati, R. y O'Connor, K. (2018). Biodegradable plastic blends create new possibilities for managing end-of-life plastics, but they are not a panacea for plastic pollution. *Environmental Science & Technology*, 52(18): 10441-10452. doi.org/10.1021/acs.est.8b02963

National Geographic (2018). *Costa Rica prohibirá los plásticos de un solo uso para el 2021*. *National Geographic*. Consultado el 8 enero de 2021. Disponible en: <https://www.ngenespanol.com/traveler/costa-rica-prohibira-los-plasticos-de-un-solo-uso-para-el-2021/>

Nelms, S., Galloway, T., Godley, B., Jarvis, y D. Lindeque, P. (2018). Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environmental Pollution*, 238: 999-1007. doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.016

Neves, D., Sobral, P., Ferreira, J. y Pereira, T. (2015). Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin*, 101(1): 119-126. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.11.008

New Plastics Economy (2017). *Oxo statement: Oxo degradable plastic packaging is not a solution to plastics pollution and does not fit in a circular economy*. Disponible en: <https://www.newplasticseconomy.org/assets/doc/Oxo-statement-May2019.pdf>

Newell, K., Taylor, B., Tweedie, W. y Tweedie, E. (2000). Plastic bread-bag clips in the gastrointestinal tract: report of 5 cases and review of the literature. *CMAJ*, 162(4): 527-529. Disponible en: <https://www.cmaj.ca/content/162/4/527.full>

Newman, S., Watkins, E., Farmer, A., ten Brink, P. Y Schweitzer, J. (2015). *The Economics of Marine Litter*. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16510-3_14

Nielsen, T., Hasselbalch, J., Holmberg, K. Y Stripple, J. (2020). Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic life cycle. *WIREs Energy and Environment*, 9(1): 1-18. doi.org/10.1002/wene.360

Nieto, V. y Lopez, J. (2017). *Cadena de Textil-Confecciones Estructura, Comercio Internacional y Protección*. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/460.pdf>

Noticias ONU (2019). *Compromiso mundial para reducir los plásticos de un solo uso*. Noticias ONU. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961>

Núñez, M. (2019). *Urge mayor gestión de residuos plásticos en Costa Rica*. *Semanario Universidad de Costa Rica*. Consultado el 8 enero de 2021. Disponible en: <https://semanariouniversidad.com/universitarias/urge-mayor-gestion-de-residuos-plasticos-en-costa-rica/>

O'neal, K. (2018). *Universidades públicas lideran investigación para crear bioplásticos en Costa Rica*. Universidad de Costa Rica. Consultado el 29 de diciembre de 2020. Disponible en: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2018/11/30/universidades-publicas-lideran-investigacion-para-crear-bioplásticos-en-costa-rica.html>

OCEANA (2019). *Proposal to limit the generation of disposable products and to regulate plastics*. Disponible en: <https://chile.oceana.org/en/reports/proposal-limit-generation-disposable-products-and-regulate-plastics>

OECD (2013). *Policies for Bioplastics in the Context of a Bioeconomy*. Disponible en: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/policies-for-bioplastics-in-the-context-of-a-bioeconomy_5k3xpf9rrw6d-en

OECD (2018). *Improving Markets for Recycled Plastics: Trends, Prospects and Policy Responses*. OECD Publishing, Paris. Disponible en: <https://www.oecd.org/environment/improving-markets-for-recycled-plastics-9789264301016-en.htm>

- Oliveira, M. Ribeiro, A. Hylland, K. Guilhermino, L. (2013). Single and combined effects of microplastics and pyrene on juveniles (0+ group) of the common goby *Pomatoschistus microps* (Teleostei, Gobiidae). *Ecological Indicators*, 34: 641-647. doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.06.019
- OMS 2016. Las dioxinas y sus efectos en la salud humana. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health#:~:text=Las%20dioxinas%20tiene%20elevada%20toxicidad,de%20ese%20modo%2C%20causar%20c%C3%A1ncer>
- Ordenanza 30-40/2019 por medio de la cual se prohíben algunos plásticos de un solo uso. Honolulu: Concejo de la Ciudad. Disponible en: <https://www.honolulu.gov/cms-env-menu/site-env-sitearticles/39170-ordinance-19-30-bill-40.html>
- Pahl, C. 2020. *Chemical Recycling: Is it the Answer*. Plug and Play. Disponible en: <https://www.plugandplaytechcenter.com/resources/chemical-recycling-it-answer/>
- Palacio, K. (2019). *Privados de libertad participan en la confección y colocación de barreras ecológicas para los ríos*. Gobierno de Panamá. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <https://www.mingob.gob.pa/privados-de-libertad-participan-en-la-confeccion-y-colocacion-de-barreras-ecologicas-para-los-rios/>
- Parker, L. (2018). *The Great Pacific Garbage Patch Isn't What you Think It Is*. National Geographic. Consultado el 15 de noviembre de 2020. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com/news/2018/03/great-pacific-garbage-patch-plastics-environment/>
- Parkes, A., Burt, T.S. y Hall, E. (1865). On the properties of Parkesine and its application to the arts and manufactures. *Journal of the Society of Arts*, 14(683): 81-92. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/pdf/41323799.pdf>
- Paul, M., Stock, V., Cara-Carmona, J., Lisicki, E., Shopova, S., Fessard, V., Braeuning, A., Sieg, H. y Bohmert, L. (2020). Micro- and nanoplastics – current state of knowledge with the focus on oral uptake and toxicity. *Nanoscale Advances*, 2(10): 4350-4367. doi.org/10.1039/D0NA00539H
- Petsko, E. (2020). *An albatross in New Zealand died after swallowing a plastic bottle, new video shows*. OCEANA. Consultado el 8 enero de 2021. Disponible en: <https://oceana.org/blog/albatross-new-zealand-died-after-swallowing-plastic-bottle-new-video-shows>
- Pham, C., Rodríguez, Y., Dauphin, A., Carrico, R., Frias, J., Vandeperre, F., Otero, V., Santos, M., Martins, H., Bolten, A. y Bjorndal, K. (2017). Plastic ingestion in oceanic-stage loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) off the North Atlantic subtropical gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 121(1-2): 222-229. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.008
- Piarulli, S., Scapinello, S., Comandini, P., Magnusson, K., Granberg, M., Wong, J., Sciutto, G., Prati, S., Mazzeo, R., Booth, A. y Airoldi, L. (2019). Microplastic in wild populations of the omnivorous crab *Carcinus aestuarii*: a review and a regional-scale test of extraction methods, including microfibrils. *Environmental Pollution*, 251: 117-127. doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.092
- Plan Quinquenal/2020 por medio del cual se regula la reducción del uso de plásticos de un solo uso. China: Consejo de Estado de la República Popular de China, del 18 de enero del 2020. Disponible en: <https://perma.cc/8TQ6-TNEB>
- Plastic Historical Society (2015). Shellac. Plastic Historical Society. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: http://plasticarian.com/?page_id=14214
- PlasticsEurope (2019). *Plastics – the Facts 2019*. Disponible en: https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version/Plastics_the_facts2019_14102019.pdf
- PlasticsEurope (2021). *What Are Plastics?* Disponible en : PlasticsEurope. (2019). *Plastics – the Facts 2019*. <https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics>
- Procomer (2020). *Portal Estadístico de Comercio Exterior. Sistemas Procomer*. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <http://sistemas.procomer.go.cr/estadisticas/inicio.aspx>
- Rabanel, J., Piec, P., Landri, S., Patten, S. y Ramassamy, C. (2020). Transport of PEGylated-PLA nanoparticles across a blood brain barrier model, entry into neuronal cells and in vivo brain bioavailability. *Journal of Controlled Release*, 328: 679-695. doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.09.042
- Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carvenali, O., Papa, F., Rongioletti, M., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M. y Giorgini, E. (2021). Plastics in human placenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 146: 106274. doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274

Ramos, P. (2020, mayo 8). *Una tecnología equivocada, el problema del Relleno Sanitario Doña Juana*. UN Periódico digital. Disponible en: <https://unperiodico.unal.edu.co/pages/detail/una-tecnologia-equivocada-el-problema-del-relleno-sanitario-dona-juana/>

Recomex (2020). *Estadísticas de Comercio Exterior 2019*. Disponible en: <https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/recomex2019-preliminar.pdf>

Reichert, J., Schellenberg, J., Schubert, P. y Wilke, T. (2018). Responses of reef building corals to microplastic exposure. *Environmental Pollution*, 237: 955-960. doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.006

Rendell-Bhatti, F., Paganos, P., Pouch, A., Mitchell, C., D'Aniello, S., Godley, B., Pazdro, K., Arnone, M. y Jimenez-Guri, E. (2020). Developmental toxicity of plastic leachates on the sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Environmental Pollution*, 269: 115744. doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115744

Renzi, M., Cilenti, L., Scirocco, T., Grazioli, E., Anselmi, S., Broccoli, A., Pauna, V., Provenza, F. y Specchiulli, A. (2020). Litter in alien species of possible commercial interest: The blue crab (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) as case study. *Marine Pollution Bulletin*, 157: 111300. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111300

Research and Markets. (2020). *Global Plastic Recycling Market Size, Market Share, Application Analysis, Regional Outlook, Growth Trends, Key Players, Competitive Strategies and Forecasts, 2019 To 2027*. Research and Markets. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: https://www.researchandmarkets.com/reports/4992322/global-plastic-recycling-market-size-market?utm_source=dynamic&utm_medium=GNOM&utm_code=c42dtp&utm_campaign=1359231+-+Global+Plastic+Recycling+Market+Trends+Report+2020&utm_exec=joca220gnomd

Resolución 2184/2019. 26 de diciembre. Por la cual se modifica la Resolución 668 de 2016 sobre uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones. Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Diario Oficial No. 51.179 de 27 de diciembre 2019. Disponible en: https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_2184_2019.htm

Resolución 24/2019, del 22 de marzo, por la cual se establece el procedimiento de evaluación de la conformidad para la comercialización e importación de las bolsas plásticas en la República de Panamá. Gaceta Oficial Núm. 28743-A del 29 de marzo de 2019. Disponible en: https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28743_A/72139.pdf

RFI (2019, septiembre 21). *Panamá pone fin a las bolsas plásticas para proteger el medioambiente*. RFI. Disponible en: <https://www.rfi.fr/es/americas/20190721-panama-pone-fin-las-bolsas-plasticas-para-proteger-el-medioambiente>

Ritchie, H. (2018). *Plastic Pollution. Our world in data*. Consultado el 10 de noviembre de 2020. Disponible en: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>

Rochman, C. (2018). *Microplastics research from sink to source*. *Science*, 360(6384), 3. Disponible en: <https://waterguardianexperts.thewaternetwork.com/storage/TFX%5CDocumentBundle%5CEntity%5CDocument-GcYotvrfjs-4KQ0iKt5EmA/aLs4p-6kP-DYBqA1GLGQeQ/file/Microplastics%20research%E2%80%9494from%20sink%20to%20source.pdf>

Rochman, C., Browne, M., Underwood, A., van Franeker, J., Thompson, R. y Amaral-Zettler, L. (2015). The ecological impacts of marine debris: unraveling the demonstrated evidence from what is perceived. *Ecological Society of America*, 97(2): 302-312. doi.org/10.1890/14-2070.1

Rodríguez, G. (2019). *Fortalecimiento de ciudades costeras y gobiernos locales en panamá para luchar contra la basura marina mediante el rechazo de plásticos de un sólo uso y para mejorar los sistemas de gestión de los residuos*. Recuperado de Fundación MarViva. Fuente inédita - 17 de enero de 2021

Rodríguez, J. (2020, marzo 27). *¿Cómo está funcionando el reciclaje en Bogotá durante la cuarentena?* El Tiempo. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/bogota/como-esta-funcionando-el-reciclaje-en-bogota-durante-la-cuarentena-478030>

Rollinson, A., y Olajedo, J. 2020. *Chemical Recycling: Status, Sustainability, and Environmental Impacts*. Global Alliance for Incineration Alternatives. 45 p. https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/CR-Technical-Assessment_June-2020.pdf

- Roman, L., Hardesty, B., Hindell, M. y Wilcox, C. (2019). A quantitative analysis linking seabird mortality and marine debris ingestion. *Scientific Reports*, 9(3202): 1-7. doi.org/10.1038/s41598-018-36585-9
- Ronkay, F., Molnar, B., Gere, D. y Czigan, T. (2021). Plastic waste from marine environment: Demonstration of possible routes for recycling by different manufacturing technologies. *Waste Management*, 119: 101-110. doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.029
- Ryan, P. (2015). A Brief History of Marine Litter Research. En Bergmann, M. Gutow, L. Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 1–25). Switzerland: Springer Cham.
- Ryan, P. (2018). Entanglement of birds in plastics and other synthetic materials. *Marine Pollution Bulletin*, 135: 159-164. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.057
- Sáenz, V. (2018, agosto 12). *Grandes petroleras dan giro hacia la petroquímica*. El Espectador. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/economia/grandes-petroleras-dan-giro-hacia-la-petroquimica/>
- SAI Global (2005). *ASTM D7081:2005*. SAI Global. Consultado el 3 de enero de 2021. Disponible en: https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/ASTM-D-7081-2005-154618-SAIG_ASTM_ASTM_372161/
- Santana, M., Moreira, T., Turra, A. (2017). Trophic transference of microplastics under a low exposure scenario: Insights on the likelihood of particle cascading along marine food-webs. *Marine Pollution Bulletin*, 121(1-2): 154-159. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.061
- Savoca, M., Wohlfeil, M., Ebeler, S. y Nevitt, G. (2016). Marine plastic debris emit a keystone infochemical for olfactory foraging seabirds. *Science Advances*, 2(11): e1600395. doi.org/10.1126/sciadv.1600395
- Scalenghe, R. (2018). Resource or waste? A perspective of plastics degradation in soil with a focus on end-of-life options. *Heliyon*, 4(12): e00941. doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00941
- Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T. y Liebmann, B. (2019). Detection of Various Microplastics in Human Stool. *Annals of Internal Medicine*, 171(7): 453-457. doi.org/10.7326/M19-0618
- Schwarcs, J. (2017). *Whales at a party?* McGill. Consultado el 17 enero de 2021. Disponible en: <https://www.mcgill.ca/oss/article/quirky-science-science-science-everywhere/1861-cartoon-depicting-whales-rejoicing-party-appeared-vanity-fair-what-were-whales-celebrating#:~:text=you%20may%20ask%3F-,The%20discovery%20of%20oil%20in%20Pennsylvania!,to%20the%20soil%20of%20Pennsylvania>
- Science History Institute (s.f). *History and Future of Plastics*. Science History Institute. Consultado el 14 de noviembre de 2020. Disponible en: <https://www.sciencehistory.org/the-history-and-future-of-plastics>
- Semana sostenible (2020a, diciembre 1). *Por estas razones el Congreso debe aprobar prohibición de plásticos en Colombia*. Semana sostenible. Disponible en: <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/marviva-expone-al-congreso-las-razones-para-prohibir-el-plastico-en-colombia-hoy/57933>
- Semana sostenible (2020b, marzo 12). *La joven recicladora que le apuesta a crear empresa y cuidar el medio ambiente*. Semana sostenible. Disponible en: <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/la-joven-recicladora-que-le-apuesta-a-crear-empresa-y-cuidar-el-medio-ambiente/48931>
- Semana sostenible. (2020c, marzo 1). *El 78 % de los hogares colombianos no recicla*. Semana sostenible. Disponible en: <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/el-78-de-los-hogares-colombianos-no-recicla/44231>
- Shah, A., Hasan, F., Hammed, A. y Ahmed, S. (2008). Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 26(3): 246-265. doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005
- Singh, B. y Sharma, N. (2008). Mechanistic Implications of Plastic Degradation. *Polymer Degradation and Stability*, 93(3): 561-584. doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.11.008
- Sivan, A. (2011). New perspectives in plastic biodegradation. *Current Opinion in Biotechnology*, 22(3): 422-426. doi.org/10.1016/j.copbio.2011.01.013
- Smith, M., Love, D., Rochman, C. y Jeff, R. (2018). Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Current Environmental Health Reports*, 5: 375-386. doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z
- Soto, S. (2019). *Gestión de los residuos sólidos en Costa Rica*. Disponible en: <http://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/7818>

- SSPD. (2019). *Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Informe Nacional de disposición final de residuos sólidos 2018*. Disponible en: https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe_nacional_disposicion_final_2019_1.pdf
- SSPD (2020). *Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Informe Nacional de disposición final de residuos sólidos 2019*. Disponible en: https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2021/Ene/informe_df_2019_final_22-12-2020.pdf
- Steer M. y Thompson R. (2020). Plastics and Microplastics: Impacts in the Marine Environment. En Streit-Bianchi, M. Cimadevila, M. Trettnak, W. (Eds.), *Mare Plasticum - The Plastic Sea* (pp. 49-72). Switzerland: Springer International Publishing
- Stockholm Convention (2021). *Big Year for chemicals & waste continues as UN experts take steps to recommend eliminating UV-328 (a toxic plastic additive)*. Stockholm Convention. Consultado el 8 enero de 2021. Disponible en: <http://chm.pops.int/Implementation/PublicAwareness/PressReleases/POPRC16PressReleaseUV328elimination/tabid/8747/Default.aspx>
- Sundbæk, K. Würtzner, I. Greve, C. Spangegaard, N. Løvstad, S. Hartmann, S. (2018). Sorption of fluorescent polystyrene microplastic particles to edible seaweed *Fucus vesiculosus*. *Journal of Applied Phycology*, 30: 2923–2927. doi.org/10.1007/s10811-018-1472-8
- Sussarellu, R. Suquet, M. Thomas, Y. Lambert, C. Fabioux, C. Pernet, M. Le Goïc, N. Quillien, V. Mingant, C. Epelboin, Y. Corporeau, C. Guyomarch, J. Robbens, J. Paul-Pont, I. Soudant, P. Huvet, A. (2016). Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(9): 2430-2435. doi.org/10.1073/pnas.1519019113
- Tabrizi, S., Rollinson, A.N., Hoffmann, M., y Favoino, E. (2020). *Understanding the Environmental Impacts of Chemical Recycling, Ten concerns with existing life cycle assessments*. Zero Waste Europe; European Environmental Bureau; Deutsche Unwelthilfe; ECOS; Gaia; Rethink Plastic; Nabu. 12 p. https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2020/12/zwe_jointpaper_UnderstandingEnvironmentalImpactsofCR_en.pdf
- Tangri, N y Wilson, M. 2017. *Waste Gasification & Pyrolysis: High Risk, Low Yield Processes for Waste Management*. Global Alliance for Incineration Alternatives. Disponible en: <https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/Waste-Gasification-and-Pyrolysis-high-risk-low-yield-processes-march-2017.pdf>
- Teles, M., Balasch, J., Oliveira, M., Sardans, J. y Peñuelas, J. (2020). Insights into nanoplastics effects on human health. *Science Bulletin*, 65(23): 1966-1969. doi.org/10.1016/j.scib.2020.08.003
- Teletica Radio (Productor) (2019, noviembre 7). *Microplásticos en playas de nuestro país* [Audio podcast]. Disponible en: https://soundcloud.com/teleticacom/malas-companias-jueves-7-de-noviembre-2019?fbclid=IwAR3hMwzigEvuKVZgBxSClbdn-wl2XZlIxedM_kwVTTD0bj8bDaNzNu-Lc
- Teles, M., Balasch, J., Oliveira, M., Sardans, J. y Peñuelas, J. (2020). Insights into nanoplastics effects on human health. *Science Bulletin*, 65(23): 1966-1969. doi.org/10.1016/j.scib.2020.08.003
- Teng, J., Wang, Q., Ran, W., Wu, D., Liu, Y., Sun, S., Liu, H., Cao, R. y Zhao, J. (2019). Microplastic in cultured oysters from different coastal areas of China. *Science of the Total Environment*, 653: 1282-1292. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.057
- Tetu, S., Sarker, I., Schrameyer, V., Pickford, R., Elbourne, L., Moore, L. y Paulsen, I. (2019). Plastic leachates impair growth and oxygen production in *Prochlorococcus*, the ocean's most abundant photosynthetic bacteria. *Communications Biology*, 2(184): 1-9. doi.org/10.1038/s42003-019-0410-x
- The Pew Charitable Trusts (2020). *Breaking the Plastic Wave*. Disponible en: https://www.pewtrusts.org/-/media/assets/2020/07/breakingtheplasticwave_summary.pdf
- The Society of Plastics Industry (1973). *Report on Plastic Recycling [reporte]*. The Society Nueva York, Estados Unidos: The Society of Plastics Industry.
- Thellen, C., Coyne, M., Froio, D., Auerbach, M., Wirsén, C. Y Ann, J. (2008). A Processing, Characterization and Marine Biodegradation Study of Melt-Extruded Polyhydroxyalkanoate (PHA) Films. *Journal of Polymers and the Environment*, 16: 1-11. doi.org/10.1007/s10924-008-0079-6

- Thompson, D. (2020). *Autopsies Show Microplastics in Major Human Organs*. *WebMed*. Consultado el 8 enero de 2021. Disponible en: <https://www.webmd.com/a-to-z-guides/news/20200817/autopsies-show-microplastics-in-all-major-human-organs#1>
- Thushari, G. y Senevirathna, J. (2020). Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon*, 6(8): e04709. doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709
- Tokiwa, Y. y Calabia, B. (2006). Biodegradability and biodegradation of poly(lactide). *Applied Microbiology and Biotechnology*, 72: 244–251. doi.org/10.1007/s00253-006-0488-1
- Tokiwa, Y., Calabia, B., Uchenna, S. y Aiba, S. (2009). Biodegradability of plastics. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(9): 3722-3742. <https://doi.org/10.3390/ijms10093722>
- Townsend, A. y Barker, C. (2014). Plastic and the Nest Entanglement of Urban and Agricultural Crows. *PLoS One*, 9(1): e88006. doi.org/10.1371/journal.pone.0088006
- Trainic, M., Flores, M., Pinkas, I., Pedrotti, M., Lombard, F., Bourdin, G., Gorsky, G., Boss, E., Rudich, Y., Vardi, A. y Koren, I. (2020). Airborne microplastic particles detected in the remote marine atmosphere. *Communications Earth & Environment*, 1(64): 1-9. doi.org/10.1038/s43247-020-00061-y
- Tullo, A. (2020). *Companies are placing big bets on plastics recycling. Are the odds in their favor?* C&EN, 98(39), 1. Disponible en: <https://cen.acs.org/environment/sustainability/Companies-placing-big-bets-plastics/98/i39>
- Turner, A. (2018). Black plastics: linear and circular economies, hazardous additives, and marine pollution. *Environment International*, 117: 308-318. doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.036
- UAESP Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos. Consultado el 22 de marzo del 2021. Disponible en: <http://www.uaesp.gov.co/especiales/RRR/>
- UN Environment (2018a). *Beat Plastic Pollution*. UN Environment. Consultado el 3 de enero de 2021. Disponible en: <https://www.unenvironment.org/interactive/beat-plastic-pollution/>
- UN Environment (2018b). *Mapping of global plastics value chain and plastics losses to the environment (with a particular focus on marine environment)*. Disponible en: [https://gefmarineplastics.org/files/2018Mappingofglobalplasticsvaluechainandhotspots-final version r181023.pdf](https://gefmarineplastics.org/files/2018Mappingofglobalplasticsvaluechainandhotspots-final%20version%20r181023.pdf)
- UN Environment y Basel Convention (2019). *Protocol on Liability and Compensation Damage Resulting from Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their disposal*. Disponible en: <http://www.basel.int/Countries/StatusofRatifications/TheProtocol/tabid/1345/Default.aspx>
- UNCRD (2020). *United Nations Center for Regional Development. 2020. 10th Regional 3R and Circular Economy Forum in Asia and the Pacific (Series of Webinars). Final Chair's Summary*. Disponible en: https://sdgs.un.org/sites/default/files/2021-01/UNCRD_10th%203R%20Forum_Final%20Chair%20Summary%20-10th%203R%20%26%20CE%20Forum%20%28issued%20without%20formal%20editing%29-6%20Jan%202021-for%20circulation.pdf
- UNEP (2015). *The Global Waste Management Outlook*. Disponible en: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9672/-Global_Waste_Management_Outlook-2015Global_Waste_Management_Outlook.pdf?sequence=3&%3BisAllowed=
- UNEP (2017). *Combating marine plastic litter and microplastics: An assessment of the effectiveness of relevant international, regional, and subregional governance strategies and approaches*. Disponible en: <https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/k1800347inf5.pdf>
- UNEP (2018a). *La Lucha contra la basura plástica y los microplásticos marinos. Resumen para responsables de la formulación de políticas*. Disponible en: https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/unep_aheg_2018_1_inf3_summary_esp.pdf
- UNEP (2018b). *Single Use Plastics: A Roadmap for Sustainability*. Disponible en: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25496/singleUsePlastic_sustainability.pdf?isAllowed=y&sequence=1
- UNEP (2019). *Compilation of United Nations Environment Assembly resolutions on marine litter and microplastics*. Disponible en: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/32238>
- UNEP (2020). *Report on the work of the ad hoc open-ended expert group on marine litter and microplastics at its fourth meeting*. Disponible en: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34632/K2002655%20-%20UNEP-AHEG-4-7%20-%20Amended%20advance.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- UNEP y NOAA (2011). *The Honolulu Strategy—A Global Framework for Prevention and Management of Marine Debris*. Disponible en: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/10670/Honolulu%20strategy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Universidad de Costa Rica (2020). *Estudio revela que plásticos PLA y OXO no son compostables en condiciones de compostaje casero*. Disponible en: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2020/06/24/estudio-revela-que-plasticos-pla-y-oxo-no-son-compostables-en-condiciones-de-compostaje-casero.html>
- Universidad de Costa Rica, Instituto de Investigaciones en Ciencias Económicas, BIOFIN y PNUD (2019). *Impacto económico del impuesto al plástico Proyecto de Ley No. 21159*. Disponible en: https://www.ucr.ac.cr/medios/documentos/2019/informe_impuesto_plastico.pdf
- Urriola, D. (2018, mayo 23). *El plástico inunda las costas de Panamá*. Bayano digital. Disponible en: <https://bayanodigital.com/el-plastico-inunda-las-costas-de-panama/>
- Urry, A. (2019). *River of trash. The intercept*. Consultado el 8 enero de 2021. Disponible en: <https://theintercept.com/2019/10/27/plastic-pollution-guatemala/>
- USAID (2019). *Marine Debris and Biodiversity in Latin America and the Caribbean*. Disponible en: https://urban-links.org/wp-content/uploads/USAID-Marine-Debris_White-Paper_FINAL2019-2.pdf
- Vale, A. (2020). *Why seabirds in the Pacific are eating plastic*. OCEANA. Consultado el 8 enero de 2021. Disponible en: <https://oceana.org/blog/why-seabirds-pacific-are-eating-plastic>
- Vanapalli, K., Sharma, H., Ranjan, V., Samal, B., Bhattacharya, J., Dubey, B. y Goel, S. (2021). Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment*, 750: 141514. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141514
- Van Cauwenberghe, L. y Janssen, C. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, 193: 65-70. doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010
- Vilakati, B., Sivasankar, V., Mamba, B., Omine, K. y Msagati, T. (2020). Characterization of plastic micro particles in the Atlantic Ocean seashore of Cape Town, South Africa, and mass spectrometry analysis of pyrolyzate products. *Environmental Pollution*, 265(Part A): 114859. doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114859
- Viršek, M., Lovšin, M., Koren, Š., Kržan, A. y Peterlin, M. (2017). Microplastics as a vector for the transport of the bacterial fish pathogen species *Aeromonas salmonicida*. *Marine Pollution Bulletin*, 125(1-2): 301-309. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.024
- von Moos, N., Burkhardt-Holm, P. y Köhler, A. (2012). Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environmental Science & Technology*, 46(20): 11327-11335. doi.org/10.1021/es302332w
- Walker, T., Frelka, N., Shen, Z., Chew, A., Banick, J., Grey, S., Kim, M., Dumesic, J., Van, R. y Huber, G. (2020). Recycling of multilayer plastic packaging materials by solvent-targeted recovery and precipitation. *Science Advances*, 6(47): eaba7599. doi.org/10.1126/sciadv.aba7599
- Walkinshaw, C., Lindeque, P., Thompson, R., Tolhurst, T. y Cole, M. (2020). Microplastics and seafood: lower trophic organisms at highest risk of contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190: 110066. doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110066
- Waluda, C. y Staniland, J. (2013). Entanglement of Antarctic fur seals at Bird Island, South Georgia. *Marine Pollution Bulletin*, 74(1): 244-252. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.06.050
- Wang, J., Li, Y., Lu, L., Zheng, M., Zhang, X., Tian, H., Wang, W. y Ru, S. (2019). Polystyrene microplastics cause tissue damages, sex-specific reproductive disruption, and transgenerational effects in marine medaka (*Oryzias melastigma*). *Environmental Pollution*, 254(Part B): 113024. doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113024
- Waring, R., Harris, R. y Mitchell, S. (2018). Plastic contamination of the food chain: A threat to human health? *Maturitas*, 115: 64-68. doi.org/10.1016/j.maturitas.2018.06.010
- Watts, A., Lewis, C., Goodhead, R., Beckett, S., Moger J., Tyler, C. y Galloway, T. (2014). Uptake and Retention of Microplastics by the Shore Crab *Carcinus maenas*. *Environmental Science & Technology*, 48(15): 8823–8830. doi.org/10.1021/es501090e
- Welden, N., Abylkhani, B. y Howarth, L. (2018). The effects of trophic transfer and environmental factors on microplastic uptake by plaice, *Pleuronectes platessa*, and spider crab, *Maja squinado*. *Environmental Pollution*, 239: 351-358. doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.110

Williams, R. (2006). Teflon makes life easy, but is it safe? *Townsend Letter*, 275(1): 36–39. Disponible en: <https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&sw=w&issn=&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA147205267&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext>

Wolfe, A. (2008). *Nylon: A Revolution in Textiles*. Science History Institute. Disponible en: <https://www.sciencehistory.org/distillations/nylon-a-revolution-in-textiles>

World Economic Forum (2016). *The New Plastics Economy Rethinking the future of plastics*. Disponible en: http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf

Wright, S. y Kelly, F. (2017). Plastic and human health: a micro issue? *Environmental Science & Technology*, 51(12): 6634-6647. doi.org/10.1021/acs.est.7b00423

Wright, S., Thompson, R. y Galloway, T. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178: 483-492. doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031

WWF (2019a). *Stop the Flood of Plastic: How Mediterranean countries can save their sea*. Disponible en: http://awsassets.panda.org/downloads/a4_plastics_reg_low.pdf

WWF (2019b). *No Plastic in Nature: Assessing Plastic Ingestion from Nature to People*. Disponible en: https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/plastic_ingestion_web_spreads.pdf

WWF, Ellen MacArthur Foundation y BCG (2020). *The business case for a UN treaty on plastic pollution*. Disponible en: https://www.plasticpollutiontreaty.org/UN_treaty_plastic_poll_report.pdf

Xu, X., Lee, W., Chan, A., Lo, H., Shin, P. y Cheung, S. (2016). Microplastic ingestion reduces energy intake in the clam *Atactodea striata*. *Marine Pollution Bulletin*, 124(2): 798-802. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.027

Zero Waste Europe (2019). *Reporte Anual*. Disponible en: https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2020/05/zwe_annual_report_2019.pdf

Zhang, G. y Liu, Y. (2018). The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China. *Science of the Total Environment*, 642: 12-20. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.004



NUESTRAS OFICINAS:
COSTA RICA +506 4052-2500
PANAMÁ +507 317-4350
COLOMBIA + 571 743-5207

BÚSQUENOS TAMBIÉN EN:



Para colaborar con nuestra gestión:
donaciones@marviva.net
www.marviva.net

Con apoyo financiero de:

