

# INFORME FINAL ESTUDIO PARA IDENTIFICAR LOS PLÁSTICOS DE UN SOLO USO INNECESARIOS EN MÉXICO



Alethia Vázquez Morillas, Maribel Velasco Pérez, Margarita Beltrán Villavicencio, Rosa María Espinosa Valdemar, Juan Carlos Alvarez Zeferino, Perla Xochitl Sotelo Navarro, Jocelyn Tapia Fuentes, Arely Areanely Cruz Salas, Esmeralda Cruz Razgado, Jéssica Paola Hermoso López Araiza, José de Jesús Ramírez Ortiz  
Agosto 2021



INFORME FINAL

# ESTUDIO PARA IDENTIFICAR LOS PLÁSTICOS DE UN SOLO USO INNECESARIOS EN MÉXICO



Oceana es la mayor organización internacional dedicada exclusivamente a la conservación del océano. Reconstruye océanos abundantes y biodiversos al impulsar políticas basadas en la ciencia en países que controlan un tercio de la captura de peces salvajes del mundo. Ha obtenido más de 200 victorias que han frenado la sobrepesca, la destrucción del hábitat, la contaminación y la matanza de especies amenazadas como tortugas y tiburones. Un océano restaurado significa que mil millones de personas pueden disfrutar de comida saludable diario. Juntos, podemos salvar los océanos y ayudar a alimentar al mundo.

Visita: [www.oceana.org](http://www.oceana.org)

Oceana. (2022). Informe final. Estudio para identificar los plásticos de un solo uso innecesarios en México. DOI. 10.5281/zenodo.7470844



# PRESENTACIÓN

La contaminación del océano y de los ecosistemas costeros debida a los residuos plásticos es un problema global, originado por el incremento en el consumo de estos materiales y su gestión inadecuada cuando se convierten en residuos. México enfrenta este problema en sus cinco regiones marinas, lo que pone en riesgo el equilibrio del medio marino y los servicios ambientales que se derivan del mismo.

En este contexto, este informe tiene como objetivo identificar los artículos plásticos de un solo uso que son innecesarios y que tienen un alto potencial de contaminación marina, así como promover medidas que permitan disminuir el impacto global de los residuos plásticos. Para ello se analizaron los resultados de muestreos de residuos en playas nacionales, al igual que literatura científica relacionada con las propiedades, el impacto potencial y la degradabilidad de los residuos plásticos. Se realizó también una revisión de los patrones de uso y manejo de productos plásticos, con el fin de identificar su potencial de reutilización y reciclaje en el país.

El análisis permitió identificar residuos plásticos que requieren medidas específicas para mitigar su impacto ambiental, y analizar la viabilidad de alternativas regulatorias, de concientización y económicas. Se evaluó el uso de materiales o sistemas alternativos mediante una revisión de estudios de análisis de ciclo de vida en los que se consideraron los impactos de las distintas opciones, desde su producción hasta su fin de vida.

A partir de la información presentada se generaron un conjunto de recomendaciones generales en el ámbito legal, en la gestión de residuos y en la producción y consumo responsables. De igual manera, se presentan recomendaciones específicas para bolsas de plástico, botellas de plástico, envolturas y empaques, popotes, vajilla desechable, tapas, arillos para envases de bebidas, implementos de pesca y globos.



## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La presencia de residuos plásticos ha sido identificada en las últimas décadas como un desafío global para el equilibrio del medio marino y del entorno natural en su conjunto. Las fuentes de residuos plásticos son diversas, sin embargo existe consenso al señalar que la mayoría de los plásticos presentes en los océanos se originan en tierra, debido a causas que incluyen el consumo excesivo, la disposición no controlada, las prácticas deficientes de manejo, el arrastre por ríos y los eventos climáticos extremos. Aunque no es posible conocer con exactitud el volumen de plásticos en los océanos, se ha estimado que anualmente se desechan al océano más de seis millones de toneladas de residuos marinos, de los cuales los plásticos constituyen la mayor proporción (1). Los plásticos presentes en el mar afectan la biodiversidad, al provocar enredamientos y al ser ingeridos por distintas especies, además de promover el transporte de organismos no endógenos a los ecosistemas (2). Aparte de afectar los servicios ambientales del medio marino, los residuos plásticos pueden generar efectos negativos en las actividades marítimas, el turismo y la salud humana (3).

Los residuos plásticos que se encuentran dispersos en el ambiente pueden formar microplásticos, partículas menores a 5 milímetros (mm) que se generan principalmente por la degradación de los materiales, debida al intemperismo y el efecto combinado de la radiación solar, la fricción, la temperatura y la acción biológica. A los microplásticos producidos por la fragmentación, conocidos como secundarios, se les suman los denominados como primarios, que desde su origen son manufacturados en tamaño milimétrico, y que incluyen a los pellets (4) y las microperlas que se añaden de manera intencional a algunos productos de cuidado personal (5). La presencia de microplásticos

es ubicua y se ha reportado su existencia en todos los océanos del mundo, en ríos (6,7), e incluso en las regiones polares (8). Los efectos asociados a la ingestión de microplásticos incluyen el transporte en la cadena trófica (9), alteraciones en el crecimiento y la reproducción (10,11), así como incorporación de contaminantes persistentes adheridos a su superficie en la cadena trófica (12-14).

Los residuos plásticos y microplásticos presentes en el medio marino no pueden removerse de manera eficiente (15). Ante esta situación, resulta evidente la relevancia de la prevención para evitar su llegada al medio natural. Las principales fuerzas motrices que provocan la presencia de plásticos en los ecosistemas son el consumo excesivo de estos materiales en aplicaciones de vida útil corta y su manejo inadecuado al final de vida; con el fin de atender ambas, las medidas propuestas por la fundación Ellen MacArthur para generar una economía circular para los plásticos incluyen la eliminación de envases plásticos problemáticos o innecesarios, y el desarrollo de medidas que permitan que los que se empleen se puedan reutilizar, reciclar o compostear de forma eficiente y segura (16). Las metas planteadas

requieren de la participación de distintos actores, de forma que se alcance un equilibrio entre los intereses del sector productivo, las autoridades y la sociedad; esto sólo puede alcanzarse a través de un marco regulatorio que promueva la mitigación para contribuir de manera efectiva a la reducción en la generación y al manejo adecuado de estos materiales (3).

## OBJETIVOS Y ALCANCES

En el contexto descrito, el presente estudio tiene como objetivo identificar los artículos plásticos de un solo uso que sean innecesarios y tengan alto potencial de contaminación marina en México, a través de los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los productos plásticos de un solo uso que llegan a las playas nacionales
- Analizar sus impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida

- Analizar su potencial de reutilización y reciclaje en el país
- Identificar y, en su caso, proponer alternativas de sustitución con menor impacto ambiental

El análisis se enfoca en los residuos plásticos que llegan a las playas de México, identificados a partir de muestreos en campo desarrollados mediante una metodología estandarizada, considerando que constituyen un reflejo de aquellos que tienen un alto potencial de convertirse en residuos marinos. Posteriormente se analizan, a través de la revisión bibliográfica de artículos científicos y reportes técnicos, los residuos plásticos más relevantes en términos de la proporción que representan o de sus posibles efectos ambientales, para identificar sus formas de uso, el potencial de reciclaje en México, los efectos ambientales en su producción, uso y fin de vida, así como las alternativas de sustitución, siempre y cuando éstas presenten menores impactos ambientales.





## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El análisis de la presencia, composición y distribución de residuos plásticos en un ambiente tan dinámico como el medio marino es complejo, debido a que se ve influenciado por factores geográficos, meteorológicos y antropogénicos, así como por el accionar de las corrientes marinas. A pesar de ello, distintas investigaciones permiten identificar algunas tendencias relevantes, que se describen a continuación.

### 2.1. PRESENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE RESIDUOS EN PLAYAS Y OCÉANOS

Si bien no es posible cuantificar y describir de manera precisa la presencia de plásticos en el medio marino, existe consenso al señalar que la fuente principal se encuentra en las actividades que se desarrollan en tierra (17-19), que incluyen principalmente la gestión inadecuada de residuos, la descarga de aguas residuales contaminadas, el arrastre por ríos, los eventos climáticos extremos y las actividades turísticas y recreativas. Por otro lado, las fuentes marinas comprenden las actividades pesqueras y la acuicultura, la navegación comercial, los cruceros turísticos y los usos recreativos (20).



### Factores que afectan el transporte y destino de los residuos plásticos

Una vez que los plásticos han llegado al medio, marino su transporte y destino dependerá de las características del residuo en sí, del entorno específico en que se encuentre y de su interacción con el mismo, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Factores que afectan el transporte y destino de los plásticos en el medio marino

Características del residuo	Densidad
	Forma
	Tamaño
Características del medio	Temperatura
	Viento
	Corrientes marinas
	Actividad biológica
Interacción con el medio	Formación de biopelícula
	Degradación y fragmentación

La densidad de los plásticos es un factor relevante, pues se relaciona de manera directa con la posibilidad de que un residuo flote o se hunda. Mientras que algunos plásticos como el polietileno, el polipropileno y el poliestireno espumado tienen densidades menores a la del agua de mar (1.02-1.029 kg/m<sup>3</sup>) y por lo tanto flotan, otros como el PVC y el PET, al tener una densi-

dad mayor, se hunden (20). Sin embargo, la densidad puede afectarse por la formación de biopelícula, que la aumenta, o por el aire atrapado, que la disminuye; esto puede ocasionar, por ejemplo, que el PET se hunda o que el PET flote (21).

### Residuos presentes en los océanos del mundo

Los distintos tipos de residuos plásticos, debido a sus fuentes y características, se distribuyen de manera diferenciada en los distintos elementos que conforman el océano. En el análisis de 36 bases de datos, desarrollado por Morales-Caselles et al., 2021 (22) puede observarse que cada entorno específico presenta un conjunto diferente de residuos en mayor proporción, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Los residuos presentes en mayor proporción en el medio acuático

TIPO DE AMBIENTE ACUÁTICO	1°	2°	3°
Agua de ríos	Contenedores de alimentos y cubiertos desechables (35.8%)	Bolsas de plástico (22.8%)	Envolturas plásticas (10.2%)
Sedimentos de ríos	Tapas de plástico (13.2%)	Botellas de vidrio (11.1%)	Botellas de plástico (9.7%)
Costas	Bolsas de plástico (16.2%)	Contenedores de alimentos y cubiertos desechables (15.4%)	Botellas de plástico (12.9%)
Aguas costeras	Envolturas de plástico (39%)	Bolsas de plástico (22.5%)	Botellas de plástico (11.1%)
Fondo marino cercano a la costa	Bolsas de plástico (12.1%)	Envolturas de plástico (11.8%)	Botellas de plástico (11.7%)
Aguas abiertas	Cuerda de plástico (31.8%)	Implementos de pesca (24.4%)	Tapas de plástico (10.6%)
Fondo marino en aguas profundas	Botellas de plástico (22.6%)	Bolsas de plástico (18.5%)	Latas de bebidas (10.2%)

Adaptado de Morales-Caselles et al., 2021 (22)



El análisis realizado en la investigación mencionada (22) permite identificar algunas tendencias relacionadas con la distribución de los distintos tipos de residuos plásticos:

- En términos globales, los residuos presentes en mayores proporciones son bolsas de plástico (14±8%), botellas de plástico (12±5%), contenedores de alimentos y cubiertos desechables (9±13%), cuerdas sintéticas (8±11%), implementos de pesca.
- (8±8%), tapas de plástico (6±5%), embalajes industriales (3±3%), botellas de vidrio (3±4%) y latas de bebidas (3±4%).
- Los residuos derivados de los productos de vida útil corta, generados principalmente en fuentes terrestres, constituyen la mayor proporción en todos los tipos de ambientes acuáticos, con excepción de las aguas abiertas, en las que los residuos de origen marino conforman la porción principal.
- Las películas plásticas, como las bolsas y envolturas, se acumulan principalmente en las zonas cercanas a la costa, pues incluso en los casos en que su densidad es menor a la del agua de mar, su superficie favorece su colonización y hundimiento relativamente rápido.
- Comparativamente, los residuos flotantes tienen mayor posibilidad de ser arrastrados por el viento hacia las costas, mientras que los que tienen menor flotabilidad presentan mayores posibilidades de llegar a los giros oceánicos.
- Los residuos de mayor tamaño tienden a acumularse cerca de la costa, especialmente en zonas con alta densidad poblacional.
- En el fondo marino cercano a la costa, para América latina y el Caribe los residuos más encontrados son bolsas de plástico (20.1%), botellas de plástico (10.4%) e implementos de pesca (10.3%).

Es importante resaltar que en la mayoría de las investigaciones que describen la presencia de residuos plásticos consideran únicamente los residuos completos e identificables, sin contabilizar los fragmentos rígidos, flexibles y espumados que se generan por la fragmentación; estos fragmentos son relevantes en el análisis de los procesos de degradación de residuos y formación de microplásticos. En la base de datos Marine Debris Tracker Database, generada a partir de la participación ciudadana a nivel internacional, el análisis

del periodo 2011-2021 muestra que, de las 3,595,568 piezas de residuos reportadas, 70.7% fueron plásticos. Los artículos individuales más encontrados fueron los fragmentos de plásticos o espumados (21.9%), las colillas de cigarro (14.5%), las envolturas de plástico (8.2%) y las tapas de plástico 2.9% (23).



## 2.1. RESIDUOS PLÁSTICOS EN PLAYAS DE MÉXICO

La recolección de residuos presentes en las playas de México se ha llevado a cabo por distintos grupos, generalmente con fines de conservación o de educación ambiental. Algunas de estas actividades se han desarrollado en el marco de la campaña Limpieza Costera Internacional organizada por la asociación Ocean Conservancy (24), que además de promover el retiro de los residuos, registra el tipo y cantidad de los distintos tipos de plásticos encontrados. En México, a partir de 1989, se han registrado resultados de playas ubicadas en los estados de Baja California, Sonora, Jalisco, Colima, Tamaulipas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. En la revisión de los residuos más comunes reportados (25) presentada en la Tabla 3, puede observarse que las botellas, tapas y bolsas de plástico aparecen de forma recurrente entre los tres tipos de residuos encontrados en mayor proporción.

Tabla 3. Residuos encontrados en playas mexicanas durante las actividades de la Limpieza Costera Internacional de Ocean Conservancy (25)

Año	RESIDUOS ENCONTRADOS EN MAYOR PROPORCIÓN EN LAS PLAYAS ANALIZADAS		
	1er lugar	2o lugar	3er lugar
1989	Botellas de vidrio (22.51%)	Botellas de plástico (13.48%)	Tapas de plástico (9.39%)
1990	Bolsas de plástico (14.39%)	Botellas de vidrio (13.55%)	Bolsas de plástico (13.26%)
1991	Tablas de madera (16.02%)	Botellas de vidrio (14.55%)	Bolsas de plástico (14.37%)
1992	Popotes/agitadores (12.98%)	Tapas de plástico (12.83%)	Bolsas de plástico (11.68%)
1993	Botellas de vidrio (16.08%)	Popotes/agitadores (13.68%)	Tapas de plástico (11.45%)
1994	Popotes/agitadores (13.22%)	Bolsas de plástico (13.20%)	Botellas de vidrio (11.62%)
1995	Tablas de madera (16.34%)	Botellas de vidrio (14.26%)	Colillas (12.61%)
1996	Bolsas de plástico (12.96%)	Bolsas de plástico (12.95%)	Botellas de vidrio (12.65%)

1999	Colillas (26.71%)	Utensilios/contenedores de plástico (16.96%)	Tapas de metal (13.38%)
2000	Botellas de plástico (14.74%)	Colillas (13.90%)	Popotes/agitadores (12.04%)
2001	Tapas de plástico (22.23%)	Botellas de vidrio (19.38%)	Bolsas de plástico (16.03%)
2002	Colillas (25.60%)	Bolsas de plástico (14.03%)	Tapas de plástico (12.24%)
2003	Colillas (22.94%)	Tapas de plástico (16.17%)	Bolsas (14.55%)
2004	Tapas de plástico (23.47%)	Colillas (16.79%)	Botellas de plástico (15.36%)
2006	Colillas (49.66%)	Tapas de plástico (12.77%)	Bolsas (9.24%)
2007	Botellas de plástico (20.99%)	Bolsas de plástico (20.12%)	Tapas de plástico (15.87%)
2008	Botellas de plástico (19.97%)	Tapas de plástico (18.04%)	Bolsas de plástico (16.43%)
2009	Colillas (21.72%)	Botellas de plástico (18.31%)	Tapas de plástico (15.27%)
2010	Tapas de plástico (20.78%)	Colillas (18.31%)	Botellas de plástico (16.98%)
2013	Colillas (31.69%)	Tapas de plástico (18.82%)	Botellas de plástico (14.57%)
2014	Colillas (31.16%)	Botellas de plástico (15.56%)	Tapas de plástico (14.31%)
2015	Colillas (32.10%)	Botellas de plástico (13.69%)	Tapas de plástico (12.19%)
2016	Botellas de plástico (73.55%)	Colillas (10.59%)	Tapas de plástico (3.65%)
2017	Colillas (29.05%)	Tapas de plástico (19.30%)	Botellas de plástico (15.18%)
2018	Colillas (38.40%)	Tapas de plástico (15.87%)	Botellas de plástico (13.76%)

Nota: en 1997, 1998, 2005, 2011 y 2012 no se reportaron resultados.

Es importante destacar que, junto con los plásticos, las colillas de cigarro se encuentran, en 15 de los 24 años reportados, entre los tres tipos de residuos con mayor presencia en las playas. Las colillas de cigarrillos están fabricadas de acetato de celulosa, un polímero sintético, por lo cual es común considerarlas como

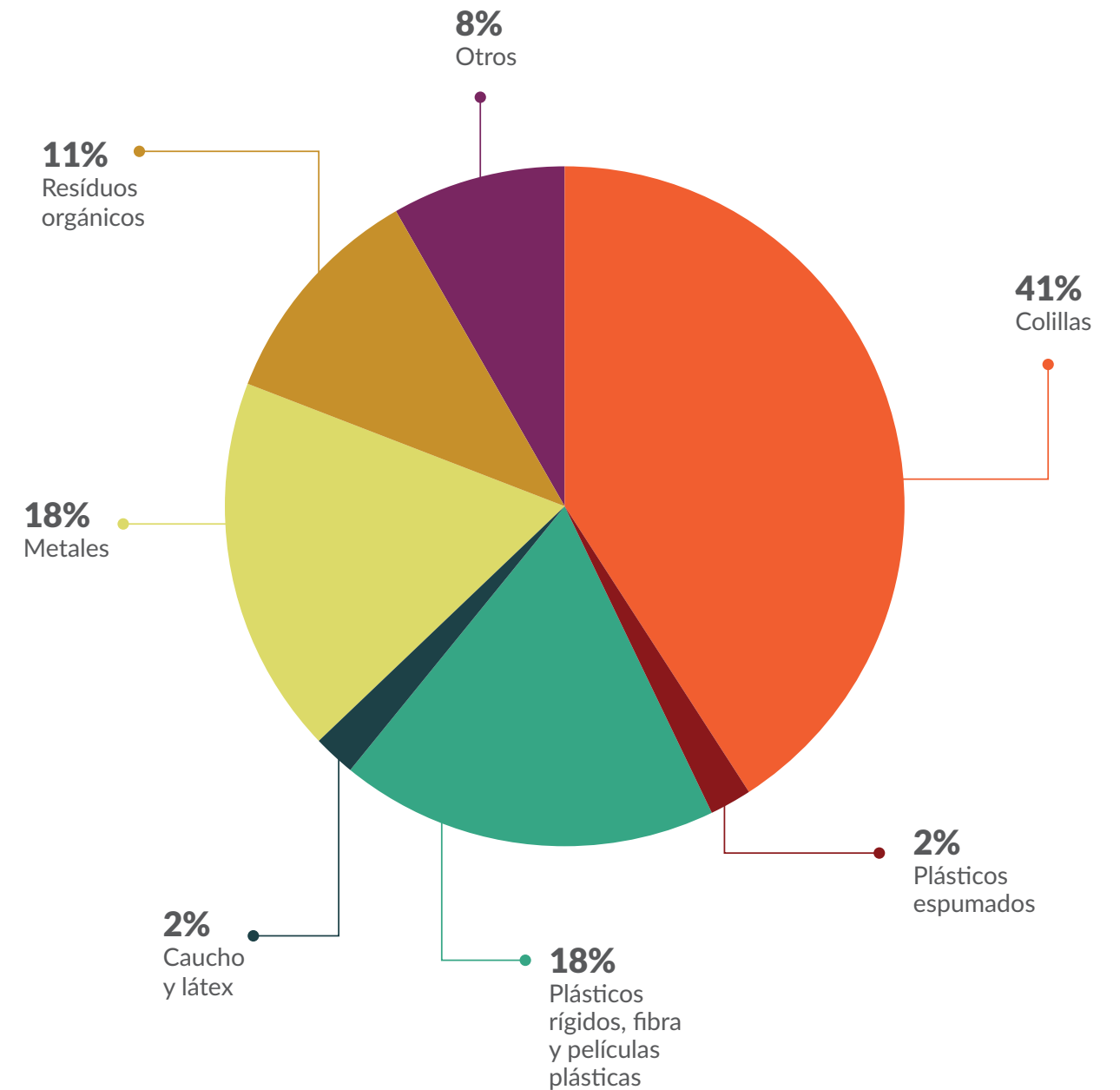
residuos plásticos; de hecho, son cuantificadas como tales en reportes generados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (26).

En 2019 se desarrolló una investigación por parte de la Universidad Autónoma Metropolitana y la Universidad Autónoma de Baja California, en la que se clasificaron los residuos encontrados en 11 playas nacionales, mostradas en la Figura 1. Los muestreos se desarrollaron en dos días consecutivos, siguiendo una metodología homogénea, que comprende la recolección de todos los residuos presentes en cinco secciones de 5 metros (m) de ancho seleccionadas aleatoriamente en un transecto de 100 m de playa, paralelo a la línea de agua (27).



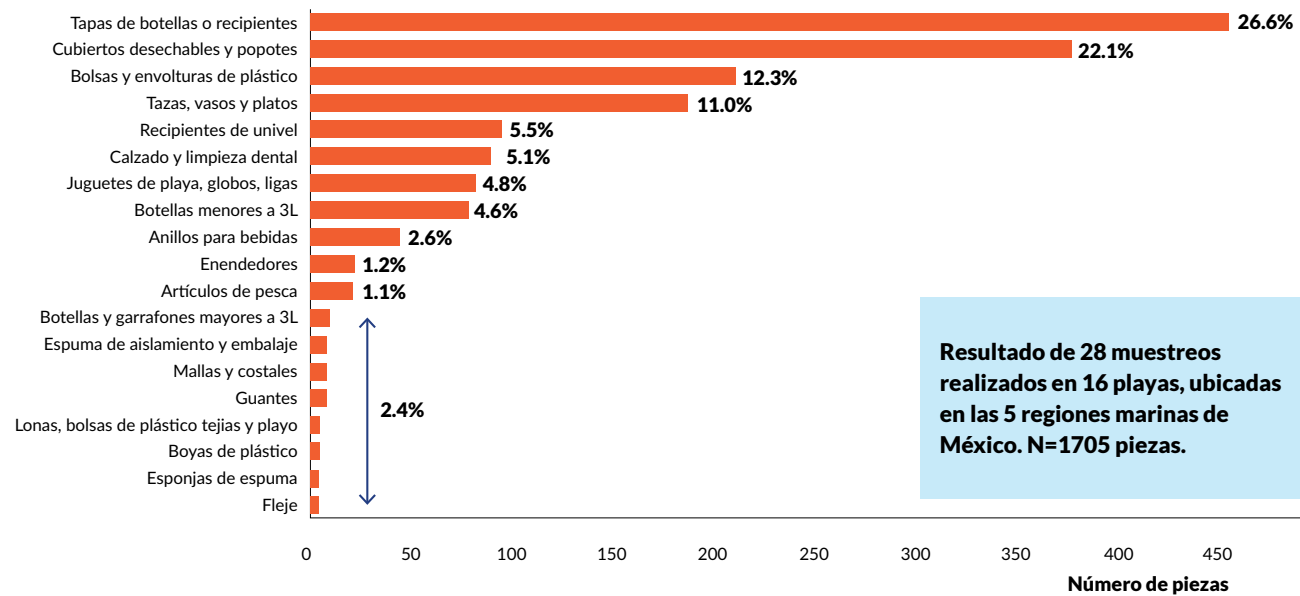
**Figura 1.** Ubicación de las playas incluidas en la investigación sobre residuos presentes en playas mexicanas

Durante los 22 muestreos realizados se encontraron y clasificaron 10,708 residuos, de los cuales la mayor proporción fue constituida por las colillas de cigarro (41%). Los residuos plásticos rígidos, películas plásticas, plásticos espumados, caucho y látex conformaron el 22% de las piezas encontradas (Figura 2). Es relevante señalar que, si se consideran las colillas de cigarro como plásticos, la proporción de este tipo de residuos se incrementa hasta el 63%.



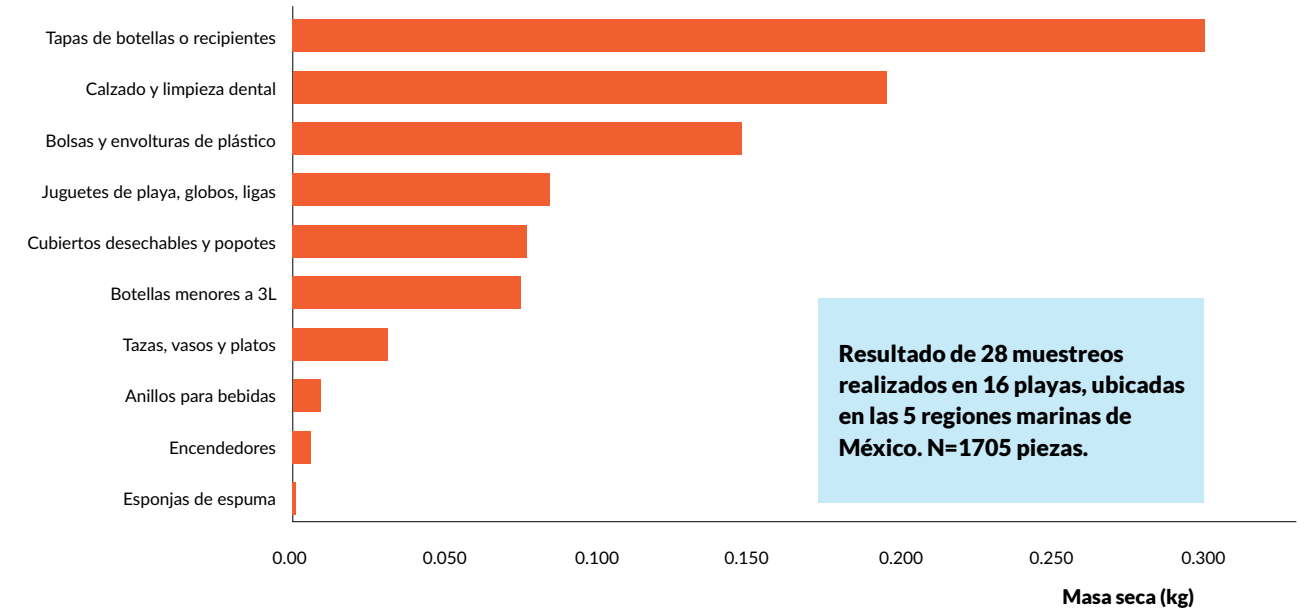
**Figura 2.** Clasificación de residuos encontrados en 22 muestreos realizados en 11 playas nacionales (n=10,708)

Con el fin de identificar los residuos plásticos relevantes por su presencia o potenciales efectos ambientales, que son analizados en los capítulos posteriores de este reporte, se analizaron los resultados de los muestreos descritos previamente y de estudios posteriores (28), conformando un universo de 28 muestreos realizados en 16 playas del país. Todos los residuos plásticos encontrados se clasificaron en 24 categorías diferentes, descritas en el Anexo 1. La contribución de los distintos tipos de residuos plásticos, con base en el número de piezas encontradas se presenta en la Figura 3. Se observa que los artículos con mayor presencia son las tapas, cubiertos desechables, popotes, bolsas, envolturas de plásticos y vajilla desechable, que en su conjunto suma el 72% de los artículos encontrados. Se muestra un cambio con relación a los reportes previos de Ocean Conservancy: mientras que artículos como las bolsas y tapas tienen presencia significativa tanto en esos informes como en la investigación que se reporta en este estudio, puede observarse una disminución general en la proporción de botellas, que han sido desplazadas por cubiertos, vajilla desechable, recipientes de unícel y otros artículos. Lo anterior podría deberse al fortalecimiento del acopio y reciclaje de envases de PET en el país, que alcanza tasas superiores al 50% (29).



**Figura 3.** Residuos plásticos con mayor presencia en playas mexicanas, con base en el número de piezas

La presencia de los residuos plásticos puede abordarse desde dos perspectivas: la primera, con base en el número de piezas, lo que refleja el mal manejo de los distintos tipos de residuos. Una segunda forma de analizarlo es a través de la contribución másica (masa total), que permite medir la carga contaminante generada por los distintos tipos de residuos, y que se presenta en la Figura 4. Por otro lado, la proporción en piezas permite identificar aquellos productos que son dispuestos de manera incorrecta con mayor frecuencia, la contribución en masa da indicios sobre cuáles de los residuos plásticos tienen un impacto potencial mayor. Los resultados muestran que, también en este caso, los residuos plásticos más relevantes son las tapas, seguidas de calzado y limpieza dental, bolsas y envolturas, juguetes, globos y ligas.



**Figura 4.** Contribución, en masa, de los distintos tipos de residuos plásticos encontrados en playas mexicanas

## CAPÍTULO 3.

# LOS PLÁSTICOS PRESENTES EN EL MEDIO MARINO

Los resultados muestran que los artículos de vida útil corta, empleados en envases, embalajes y artículos relacionados con alimentos y bebidas, constituyen la fracción más importante de los residuos plásticos encontrados en las playas de México. Estos productos están elaborados en su mayoría por plásticos conocidos como *commodities*, que se producen a gran escala y se caracterizan por su bajo costo, versatilidad y facilidad de procesamiento. De forma específica, el tipo de plásticos utilizados en la fabricación de los residuos más comunes en playas mexicanas se presentan en la Tabla 4.

TIPO DE PLÁSTICO (ACRÓNIMO)	CÓDIGO NUMÉRICO DE IDENTIFICACIÓN	RESIDUOS PRESENTES EN PLAYAS FABRICADOS CON ESTE MATERIAL
Polietileno tereftalato (PET)	1	Envases de bebidas, contenedores de alimentos
Polietileno de alta y baja densidad (PEAD, PEBD)	2, 4	Bolsas, tapas, envases de alimentos, envases de productos de cuidado personal, juguetes, artículos de pesca
Policloruro de vinilo (PVC)	3	Juguetes de playa, flotadores
Polipropileno (PP)	5	Envolturas metalizadas, tapas, recipientes de alimentos, popotes, cuerdas, mallas, costales
Poliestireno expandido (EPS)	6	Recipientes para alimentos y bebidas, hieleras, materiales aislantes y de flotación
Poliuretano (PU)	7 (otros)	Espumas, aislantes
Estireno acrilonitrilo (SAN)	7 (otros)	Encendedores
Poliamidas (PA)	7 (otros)	Cepillos de dientes
Policarbonato (PC)	7 (otros)	Envases para bebidas, elementos estructurales translúcidos



En fechas recientes, debido a la pandemia originada por el virus SARS-COV-2, se ha reportado la presencia de equipo de protección personal en playas y otros entornos marinos (30,31), especialmente de cubrebocas. Estos son elaborados generalmente de distintas capas de materiales que incluyen al polipropileno.

Los tipos de residuos presentes en las playas pueden relacionarse con los microplásticos que se encuentran en los mismos entornos. En una investigación realizada en 33 playas nacionales (32) se encontró que el 56% de los microplásticos presentes eran de polietileno, seguido del polipropileno (21%) y poliestireno (12%). Cabe señalar, sin embargo, que la prevalencia de estos materiales puede relacionarse con el hecho de que flotan en el medio marino, a diferencia de otros materiales como el PET y el PVC, cuya densidad es mayor a la del agua marina.

### 3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS PLÁSTICOS PRESENTES EN PLAYAS Y OCEANOS

La distribución y efectos de los residuos plásticos en el ambiente depende principalmente de dos conjuntos de factores: las propiedades de los materiales y las características del entorno. En los ecosistemas marinos, en los que los plásticos están sometidos a la acción del viento, la radiación solar, la salinidad, la fricción con la arena y las interacciones con otros compuestos y seres vivos presentes en el medio, propiedades como la densidad, contenido de aditivos, cristalinidad y polaridad revisten especial importancia. En la Tabla 5 se resumen cinco propiedades relevantes de los plásticos más comunes en los residuos marinos. Estas propiedades destacan porque influyen en la capacidad de los plásticos para sorber contaminantes del medio circundante, lixiviar compuestos agregados durante su fabricación o bien se relacionan con su distribución en el medio acuático.

Tabla 5. Propiedades químicas relevantes de los plásticos

NOMBRE DEL PLÁSTICO Y ACRÓNIMO	ESTRUCTURA	DENSIDAD (g/cm³)	CRISTALINIDAD	POLARIDAD	REFERENCIAS
Polietileno tereftalato (PET)		1.34 - 1.39	1.34 - 1.39	Polar	(33 - 37)
Polietileno de alta densidad (PEAD)		0.93 - 0.97	0.93 - 0.97	Apolar	(35, 36, 38 - 41)
Policloruro de vinilo (PVC)		1.10 - 1.47	1.10 - 1.47	Polar	(35 - 40, 42)
Polietileno de baja densidad (PEBD)		0.91 - 0.92	0.91 - 0.92	Apolar	(35, 36, 38 - 41)
Polipropileno (PP)		0.89 - 0.92	0.89 - 0.92	Apolar	(35, 36, 38 - 41)
Poliestireno (PS)		0.01 - 1.05	0.01 - 1.05	Apolar	33, 35 - 37, 39, 40)
Policarbonato (PC)		1.19 - 1.25	1.19 - 1.25	Polar	(33, 39, 42 - 44)
Poliuretano (PUR)		0.08 - 0.18	0.08 - 0.18	Polar	(36, 40, 45 - 48)
Nylon o poliamida (PA)		1.13 - 1.15	1.13 - 1.15	Polar	(33, 35, 37, 39, 40, 49)

### La densidad y su efecto en el transporte de residuos plásticos

La densidad (relación masa/volumen) de los plásticos es uno de los factores más relevantes en su distribución en el medio marino (50). El agua de mar tiene una densidad promedio de 1.025 g/cm<sup>3</sup> (33), superior a la del agua dulce, que generalmente oscila alrededor de 1 g/cm<sup>3</sup>. Generalmente se asume que en un río o en el océano aquellos residuos plásticos con una densidad mayor (PET, PVC, PS rígido, PC y PA) que la del medio acuático se transportarán de manera vertical hacia abajo y tenderá a hundirse, mientras que los que tengan una densidad menor a la del agua (PEAD, PEBD, PS expandido y PUR) flotarán en la superficie (Figura 5) y se transportarán horizontalmente a través de las corrientes (33).



**Figura 5.** Ejemplo de plástico flotante: vaso de Polipropileno (PP)

Sin embargo, este comportamiento puede verse afectado por los factores ambientales (51). Uno de los más relevantes es la biopelícula formada por comunidades microbianas y otras especies, que al adherirse a la superficie de los plásticos hace que estos puedan aumentar su densidad (52). Adicionalmente, la flotabilidad de los residuos plásticos puede variar debido a su forma, al aire atrapado en su interior y a su tamaño. Además de la densidad, otros factores que influirán en la distribución y transporte de los plásticos incluyen las corrientes oceánicas, el oleaje, eventos de alta energía y las fuentes de origen (50).

### Aditivos: ¿riesgo de lixiviación de contaminantes?

De manera general los plásticos se consideran bioquímicamente inertes, sin embargo durante la fabricación de los plásticos se agregan productos químicos llamados “aditivos” que sirven para mejorar el procesamiento, prolongar la vida útil de los plásticos y lograr las propiedades físicas o químicas deseadas en el producto final (53). Además, durante la producción generalmente las reacciones de polimerización no se completan, de tal modo

que quedan monómeros sin reaccionar, así como compuestos químicos disponibles, los cuales pueden lixivarse en el contacto con medios circundantes (54); el grado de lixiviación de los compuestos varía según el tipo de polímero, su tamaño, las propiedades de la sustancia aditiva y las condiciones ambientales (42).

Entre los aditivos que se consideran potencialmente riesgosos se encuentran los ftalatos, los compuestos polibromados y el bisfenol-A (BPA), que pueden imitar, competir o alterar la síntesis de hormonas endógenas. Este desequilibrio hormonal en los organismos puede causar a su vez problemas morfológicos permanentes en la etapa de desarrollo o interrupción sexual en adultos, es por ello que la presencia de los plásticos que contienen estos compuestos en el medio acuático supone un riesgo para la fauna que entre en contacto con ellos, bien sea a través de su ingesta directa o de los compuestos liberados al medio (42).

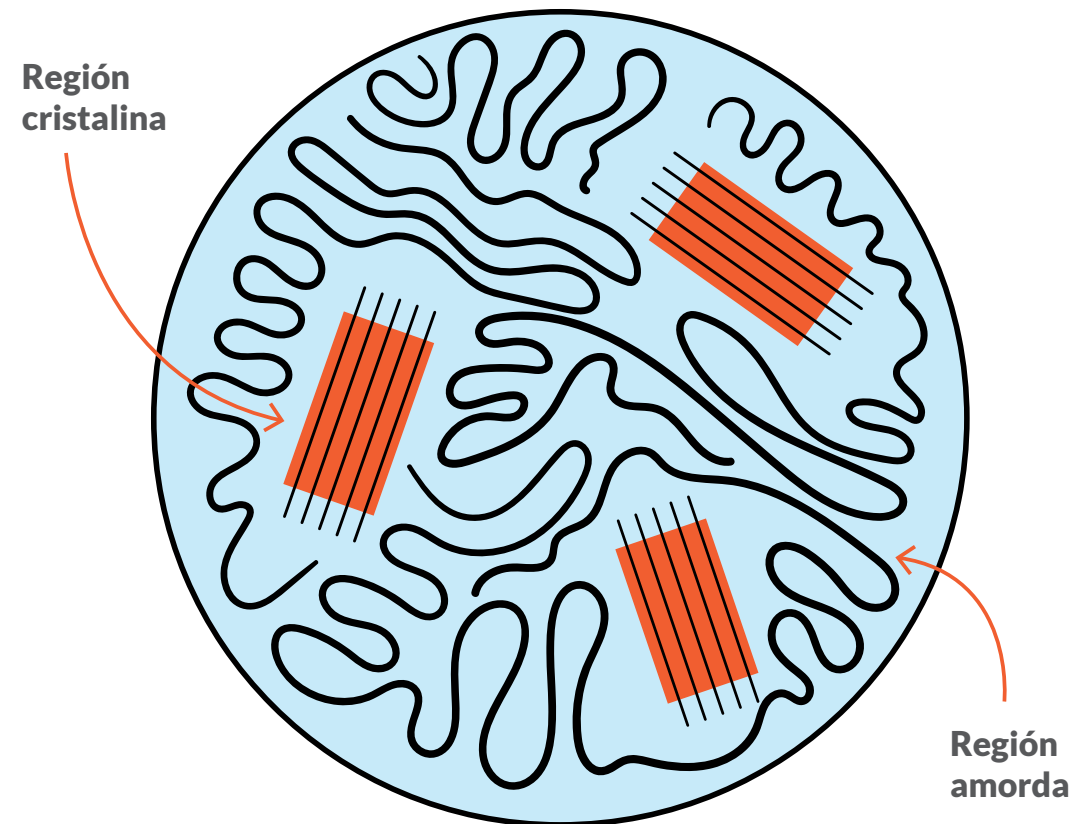


Figura 6. Representación esquemática de las regiones cristalina y amorfa en un polímero. Adaptado de (46)

Además de lo anterior, la polaridad de los plásticos juega un papel importante en su interacción con los compuestos presentes en el medio. Las moléculas en general pueden clasificarse como polares, cuando presentan zonas de cargas positiva y negativa en su estructura, o no polares, cuando sus cargas están balanceadas y se neutralizan. Como regla general, las moléculas polares atraerán a otros compuestos polares, y las no polares serán afines a las no polares.

Se ha observado que diferentes tipos de plásticos atraen a ciertos compuestos en función de su polaridad (55). Ejemplo de esto son las poliamidas (polares), que comparadas con plásticos como el polietileno y polipropileno (apolares), presentan menos capacidad de sorción (adhesión en su superficie) para los antibióticos polares sulfadiazina, amoxicilina, tetraciclina, ciprofloxacina y

trimetoprim (56). En otra investigación se reportó que contaminantes apolares (n-hexano, ciclohexano, benceno, tolueno, clorobenceno, benzoato de etilo y naftalina) se concentraron mayormente en el polímero no polar PS que en PVC, PA (polares) y PE (apolar) (57).

La capacidad de los plásticos para atraer contaminantes que se adhieran en su superficie depende también de sus propiedades físicas, tales como área superficial, tamaño de partícula y grado de intemperismo, y de factores ambientales como son el pH y la temperatura (35).







### 3.2. DEGRADACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN ECOSISTEMAS MARINOS

Uno de los factores que se relacionan con el impacto potencial de los residuos plásticos en el medio marino es su persistencia. Los plásticos en general se consideran resistentes a la degradación, la cual puede definirse como el conjunto de fenómenos que ocasionan la pérdida de propiedades en los materiales, que resulta de la acción conjunta de factores ambientales como la radiación UV del sol, la humedad, la fricción y la acción de los seres vivos. La velocidad de degradación de los plásticos depende también de sus propiedades físicas y químicas como la solubilidad, temperatura de fusión, la cristalinidad y la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ). Los plásticos con una tasa de degradación mayor tienen como característica valores de  $T_g$  bajos en comparación a la temperatura media del océano ( $5^\circ\text{C}$ ). La degradación de un material es un proceso gradual y generalmente se evalúa a través de la medición de sus propiedades.

#### Efecto de la estructura química y las propiedades de los plásticos

Los procesos abióticos y bióticos que provocan la degradación de los plásticos en ambientes marinos son lentos, y dependen además de una serie de factores relacionados con los materiales en sí, como su estructura química, su peso molecular (proporcional al tamaño de la molécula) y su relación superficie/volumen. En general los plásticos que contienen en su estructura ciertos grupos de átomos, conocidos como grupos funcionales, que incluyen oxígeno y otros elementos diferentes al carbono, como ésteres, amidas, carbonatos y uretanos, permiten una mayor rapidez de erosión de la superficie que los plásticos sin estos grupos funcionales, como el PE, el PP y el PS (58).

Un ejemplo de lo anterior es el estudio en que se comparó la degradación del nylon (poliamida), un plástico que contiene enlaces con oxígeno y nitrógeno en su estructura, con polietileno (PE) y polipropileno (PP). Estos plásticos usados en la fabricación de cuerdas se expusieron a un ambiente marino



durante 12 meses. A pesar que el PE y el PP perdieron más resistencia que el nylon, este último material presentó la mayor pérdida de masa durante el periodo de estudio (59). Los plásticos compuestos de carbono e hidrógeno en general presentarán mayor resistencia a la degradación, mientras que los plásticos que presentan grupos funcionales en su estructura, como las poliamidas y los poliésteres son más sensibles a la hidrólisis, una reacción química con moléculas de agua que corta las grandes moléculas de los plásticos, reduciendo su tamaño.

### Efecto de la radiación solar

Uno de los factores principales en la degradación de los plásticos en el medio natural es la fotodegradación, producida por la radiación UV del sol, el oxígeno presente en la atmósfera y el desgaste de los materiales debido a la abrasión (60). En medios marinos, estos procesos ocurren a una profundidad de la superficie del plástico de 50-100  $\mu\text{m}$  y dan como resultado una reducción del tamaño de la molécula y un agrietamiento que facilita la formación de microplásticos (61). Además, en ambientes costeros, a medida que se oxidan los enlaces C-H presentes en la mayoría de los plásticos, se forman grupos funcionales que facilitan la formación de biopelícula (62).

### Biodegradación

La biodegradación puede definirse como un proceso de degradación causado por organismos vivos, generalmente microscópicos. En lo referente a los plásticos presentes en el medio marino, es un proceso complejo que generalmente inicia con la formación de una colonia bacteriana en su superficie. Las bacterias colonizan la superficie de los plásticos en el océano y tienden a la formación de biopelícula (63). Esto brinda una oportunidad para la biodegradación en forma de pérdida de masa por erosión superficial. Algunos ejemplos incluyen la biodegradación de poliamidas y nylon, que se ha evaluado en medio de sal mineral a 35 °C y pH de 7.5 bajo condiciones de enriquecimiento, simulando el ambiente marino. El nylon disminuyó el tamaño de sus moléculas en 31%-41%, y tuvo una pérdida global de masa del 2% al 7%, en un periodo de tres meses (64). En general las tasas de formación de biopelícula son mayores para los poliésteres, seguidos de las poliamidas.

### ¿QUÉ PLÁSTICOS SE DEGRADAN MÁS EN EL OCÉANO?

A partir de la combinación de datos experimentales y predicciones computacionales, considerando factores como la estructura, la composición, las propiedades físicas y los datos de degradación de distintos plásticos, Min y sus colaboradores (58) clasificaron los plásticos comunes en términos de su degradabilidad en mar abierto o costero. La escala se fijó en términos de la masa de plástico perdida por un pequeño cuadrado de plástico durante un día: "baja" que corresponde a 0.0003-0.003 mg/cm<sup>2</sup> día, "media" 0.003-0.03 mg/cm<sup>2</sup> día, y "rápida", de 0.03-0.3 mg/cm<sup>2</sup> día. En general, la degradabilidad de los plásticos sigue el orden poliuretanos > poliamidas (nylon) > policarbonato > polietileno y polipropileno.

### 3.3. IMPACTO AMBIENTAL

Los residuos plásticos y microplásticos presentes en el medio marino generan diferentes efectos negativos en los ámbitos ecológico, social y económico. Estos impactos son globales y pueden afectar en forma especial a las regiones más vulnerables. Las consecuencias negativas más relevantes de la contaminación plástica en el medio marino se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Impactos de plásticos y microplásticos en el medio marino

	ÁREAS DE IMPACTO	IMPACTOS RELEVANTES
Ecológicos	Efectos en cosistemas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Invasión de especies por transporte en residuos (65)</li> <li>• Interferencia en el intercambio gaseoso y flujo de nutrientes (66)</li> <li>• Alteración de los ciclos de carbono en el océano (67)</li> <li>• Disminución en la productividad de los ecosistemas (66)</li> <li>• Incorporación en nidos (68)</li> <li>• Daño en hábitats específicos, como corales y manglares (17)</li> </ul>
	Efectos en organismos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enredamientos (69)</li> <li>• Ingestión en organismos de todos los niveles de la cadena trófica (70-72)</li> <li>• Ahogamiento, laceración, desórdenes alimenticios, translocación (73,74)</li> <li>• Transporte de compuestos tóxicos en su superficie (75,76)</li> <li>• Lixiviación de aditivos potencialmente tóxicos (77)</li> </ul>

	ÁREAS DE IMPACTO	IMPACTOS RELEVANTES
Sociales	Salud humana y alimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingreso al cuerpo humano por ingestión de especies marinas y consumo de sal (78)</li> <li>• Afectaciones a las fuentes marinas de alimentos (17)</li> <li>• Liberación de aditivos potencialmente tóxicos y compuestos adsorbidos en su superficie (77)</li> <li>• Transporte de organismos patógenos al interior del cuerpo humano (79,80)</li> <li>• Incertidumbre sobre efecto en el largo plazo (81)</li> </ul>
	Pérdida de ingreso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectaciones a pescadores (17)</li> <li>• Reducción en la actividad turística (17)</li> <li>• Disminución de la capacidad de los ecosistemas costeros para generar bienestar emocional (82)</li> <li>• Impacto mayor en poblaciones vulnerables (83)</li> <li>• Pérdida del patrimonio natural</li> </ul>
Económicos	Pesca y acuicultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción en la productividad (84)</li> <li>• Daños en especies por redes fantasma (85)</li> <li>• Introducción de especies exógenas (79)</li> <li>• Vulnerabilidad de los procesos de acuicultura (86)</li> <li>• Ingestión por especies de importancia comercial (17)</li> </ul>
	Turismo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectaciones estéticas (87)</li> <li>• Disminución de visitantes en playas y costas contaminadas (88)</li> <li>• Riesgos sanitarios y de lesiones en sitios turísticos (89)</li> </ul>
	Navegación comercial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riesgo de enredamientos y colisiones (90)</li> <li>• Costos asociados a remoción de residuos (17)</li> </ul>



De acuerdo con lo reportado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (17), los diez tipos de residuos con mayor impacto potencial en los animales marinos son, en orden decreciente de impacto:



**1. Bolsas de papel**



**2. Botellas de vidrio**



**3. Vasos, tazas y platos de plástico**



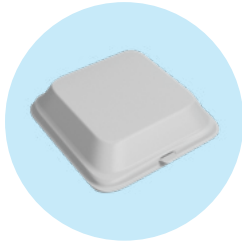
**4. Fragmentos de plástico no identificados**



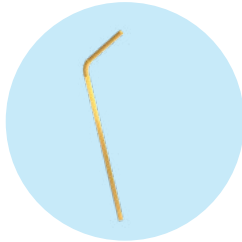
**5. Botellas de bebidas**



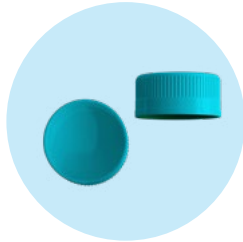
**6. Latas**



**7. Contenedores de alimentos para llevar**



**8. Popotes y agitadores**



**9. Tapas de plástico para recipientes**



**10. Contenedores plásticos rígidos**



## CAPÍTULO 4.



# POTENCIAL DE REUTILIZACIÓN Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS

### 4.1. PATRONES DE USO POR PARTE DE LOS CONSUMIDORES

Un elemento clave en el destino e impacto ambiental de los productos plásticos es la conducta del consumidor, que tiene la posibilidad de elegir entre distintas alternativas, tales como reutilizarlo, separarlo para su reciclaje o desecharlo después de uno o varios usos.

Con el fin de identificar estos patrones de conducta se realizó una encuesta en línea, en la que se preguntó a los participantes sobre el manejo que dan a distintos residuos plásticos. La encuesta fue respondida por 351 personas, en su mayoría mujeres jóvenes con estudios de licenciatura, 12.3% de las cuales habitan en municipios costeros. Si bien el universo de participantes no puede considerarse como una muestra representativa de la realidad nacional, las respuestas permiten identificar aquellos residuos plásticos que en general son percibidos como más reutilizables o reciclables, tal como se muestra en la Figura 7.


**Figura 7.** Manejo de residuos plásticos por parte de los participantes en una encuesta en línea (n = 351)

	MÁS DE 50 %	ALGUNOS	MUY POCO O NINGUNO
 <p><b>Reutilizan al menos una vez</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cubiertos desechables</li> <li>➤ Platos, vasos y contenedores desechables</li> <li>➤ Bolsas de plástico recetas y tipo camiseta</li> <li>➤ Botellas de PET</li> <li>➤ Otros envases plásticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tapas de plástico</li> <li>➤ Popotes</li> <li>➤ Envolturas de plástico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Arillos de plástico</li> <li>➤ Globos</li> </ul>
 <p><b>Separan para su reciclaje</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tapas de plástico</li> <li>➤ Botellas de PET</li> <li>➤ Otros envases plásticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cubiertos desechables</li> <li>➤ Platos, vasos y contenedores desechables</li> <li>➤ Bolsas de plástico recetas y tipo camiseta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Platos, vasos y contenedores de unicel</li> <li>➤ Anillos de plástico</li> <li>➤ Globos</li> <li>➤ Popotes</li> <li>➤ Envolturas de plástico</li> </ul>

Al analizar las respuestas de los participantes puede observarse, en general, que gran parte de los residuos plásticos encontrados en las playas son considerados como reutilizables (desechables, bolsas, botellas y envases) o reciclables (tapas, botellas y envases) por una proporción elevada de los participantes. Estos resultados pueden presentar un sesgo por

factores como la edad, el nivel educativo, el lugar de residencia y el sesgo de deseabilidad social de los participantes, es decir el responder de una manera que se considera positiva y aceptada (91). Sin embargo, aunque los resultados no pueden considerarse precisos en términos numéricos, si permiten diferenciar entre los distintos tipos de residuos y agruparlos en las categorías mostradas en la Figura 7.

**2/3** DE LOS PARTICIPANTES RESPONDIERON QUE SEPARAN TAPAS DE PLÁSTICO PARA SU DONACIÓN EN CAMPAÑAS LTRUISTAS



En concordancia con las respuestas sobre el reciclaje, los participantes identificaron las botellas de PET, envases plásticos y tapas como los tipos de residuos plásticos que generalmente no son desechados con la “basura”, a diferencia de otros artículos que, a pesar de reutilizarse, terminan siendo desechados.

Los resultados referentes a bolsas de plástico, botellas de PET y otros envases plásticos son consistentes con lo reportado en el Módulo de Hogares y Medio Ambiente del INEGI, que en 2018 reportó que el 79.6% de la población separa el PET, el 67.7% reutiliza las bolsas de plástico y 35% reutilizan otros envases de plástico o vidrio (92).





## 4.2. EL RECICLAJE DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS

Aunque la mayoría de los plásticos de uso común son susceptibles de reciclarse por medios físicos, la posibilidad real de que esto ocurra depende, en gran medida, de factores sociales, de gestión de residuos, económicos e incluso políticos. En México el reciclaje, es decir la utilización de residuos acondicionados como materia prima, es realizado principalmente a través de la actividad privada, incorporando el trabajo de los sectores formal e informal.

El reciclaje es viable desde el punto de vista económico cuando se tienen volúmenes altos de residuos plásticos limpios y separados por tipo de resina; además de ello se requiere de la existencia de un mercado, es decir de empresas que deseen adquirir los residuos recuperados y procesados como materia prima. Por lo anterior, el reciclaje es más exitoso en regiones en las que, además de generar residuos plásticos y tener la capacidad de acopiarlos, se cuente con industrias que utilicen plásticos como materia prima. En un país tan extenso y diverso como México, en ocasiones esta actividad queda limitada por los costos asociados al transporte de materiales desde el punto de generación hacia los posibles usuarios, lo cual hace inviable el proceso.



### Los centros de acopio de residuos plásticos

Debido a que una parte significativa del acopio de residuos plásticos en México para su reciclaje se realiza de manera informal, no se cuenta con cifras precisas que permitan medir y caracterizar esta actividad (93).

Una forma indirecta de analizar el reciclaje de residuos plásticos en México es a través de la existencia de centros de acopio, que de acuerdo con SEMARNAT son instalaciones donde se reciben, acumulan, acondicionan y almacenan temporalmente los residuos sólidos urbanos o de manejo especial, que han sido separados previamente en la fuente de origen o durante el flujo de residuos (94). La SEMARNAT tiene registrados 1,060 centros de acopio distribuidos en 77 de los 2,458 municipios del país (95), sin embargo esta cifra no es exacta debido a la existencia de diversos centros de acopio informales que no han sido registrados ante instituciones públicas, puesto que no cuentan con todas las regulaciones necesarias para brindar este servicio (94,96). Los tipos de residuos plásticos pueden analizarse a través de la información proporcionada en el portal de Ecolana ([ecolana.com.mx](http://ecolana.com.mx)), un proyecto que permite ubicar centros de acopio que reciben distintos tipos de residuos. La

búsqueda realizada en el primer trimestre de 2021 en este portal muestra un registro de 1,199 centros de acopio en el territorio nacional. Estos centros de acopio están distribuidos en diferentes proporciones a lo largo de la República Mexicana, principalmente se encuentran en la región centro del país (especialmente en el Estado de México y la Ciudad de México) y en entidades federativas con un alto desarrollo económico como Jalisco, Querétaro y Guanajuato, mientras que en estados costeros (17) la cantidad de estos centros es menor (97), como se muestra en las tablas 7 y 8.

**Tabla 7.** Distribución de centros de acopio en las regiones costeras de México. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecolana.com (97)

REGIÓN COSTERA	ESTADOS	CENTROS DE ACOPIO REGISTRADOS	TOTAL DE CENTROS DE ACOPIO
Golfo de México	Tamaulipas	0	102
	Veracruz	25	
	Tabasco	0	
	Campeche	6	
	Yucatán	71	
Golfo de California	Sonora	24	87
	Sinaloa	15	
	Baja California	37	
	Baja California Sur	11	
Pacífico Centro	Guerrero	12	183
	Michoacán	12	
	Colima	4	
	Jalisco	95	
	Oaxaca	35	
	Chiapas	17	
	Nayarit	8	
	Quintana Roo	42	
<b>TOTAL</b>		<b>414</b>	

**Tabla 8.** Distribución de centros de acopio en las regiones no costeras de México. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecolana.com (97)

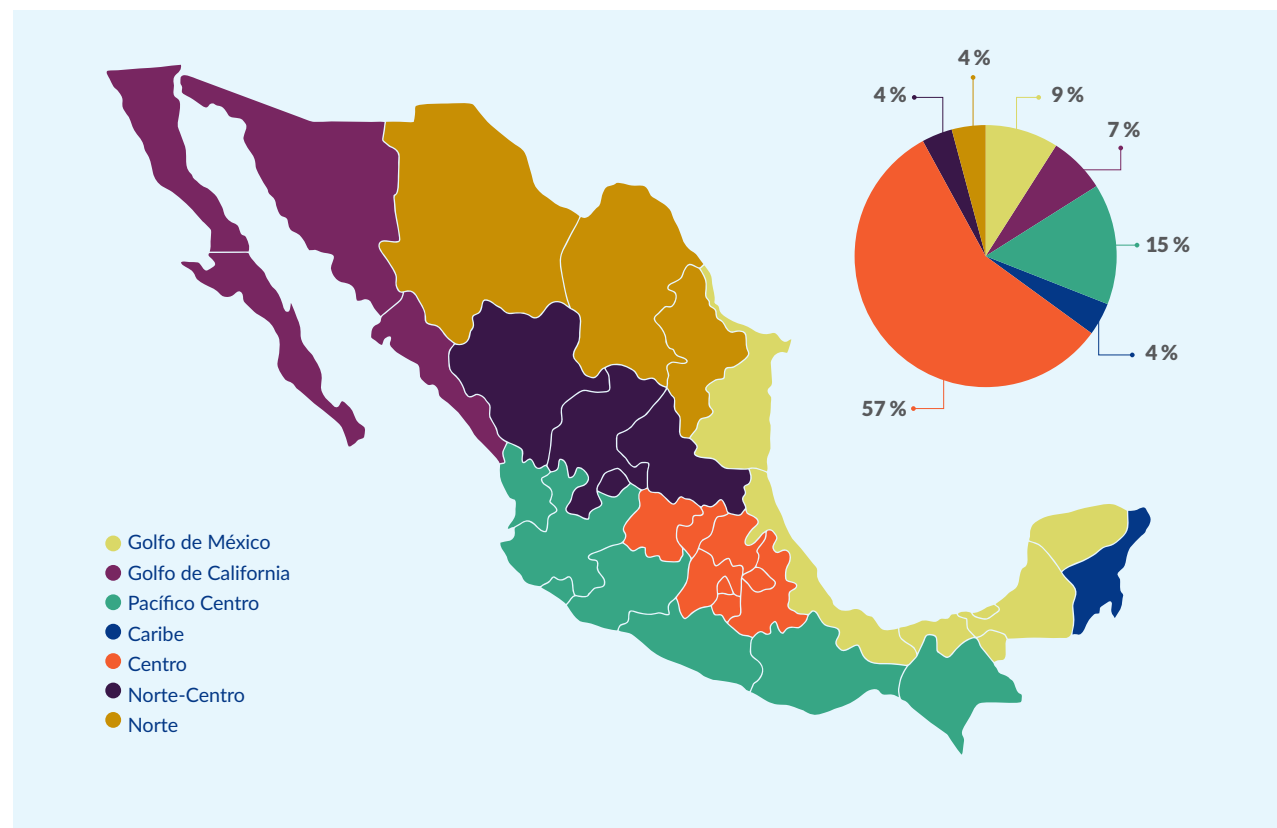
REGIÓN NO COSTERA	ESTADOS	CENTROS DE ACOPIO REGISTRADOS	TOTAL DE CENTROS DE ACOPIO
Centro	Guanajuato	31	688
	Querétaro	40	
	Hidalgo	8	
	Estado de México	221	
	Tlaxcala	5	
	Puebla	113	
	Morelos	25	
	Ciudad de México	245	
Norte - Centro	Durango	4	48
	Zacatecas	7	
	Aguascalientes	23	
	San Luis Potosí	14	
Norte	Chihuahua	9	49
	Coahuila	12	
	Nuevo León	28	
<b>TOTAL</b>		<b>785</b>	

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 7 se observa que, entre las regiones costeras, la del Pacífico Centro es la que cuenta con una mayor cantidad de centros de acopio, cifra que está relacionada con el hecho de que el estado de Jalisco se encuentra en dicha región, ya que, de todas las entidades federativas con acceso a costa es la que cuenta con el mayor número de centros de acopio (95). Por otro lado, la región que cuenta con menos centros de acopio es la del Caribe, sin embargo es importante mencionar que, aunque la región se compone de un solo estado, este tiene una mayor presencia de centros de acopio a comparación de otras entidades como Nayarit, Colima y Campeche, por mencionar algunas.

Estos centros de acopio se encuentran distribuidos en su mayoría en las capitales (o en zonas cercanas a ellas) de los estados y sólo unos pocos se encuentran cerca de la línea costera. Ejemplo de esto son los estados de



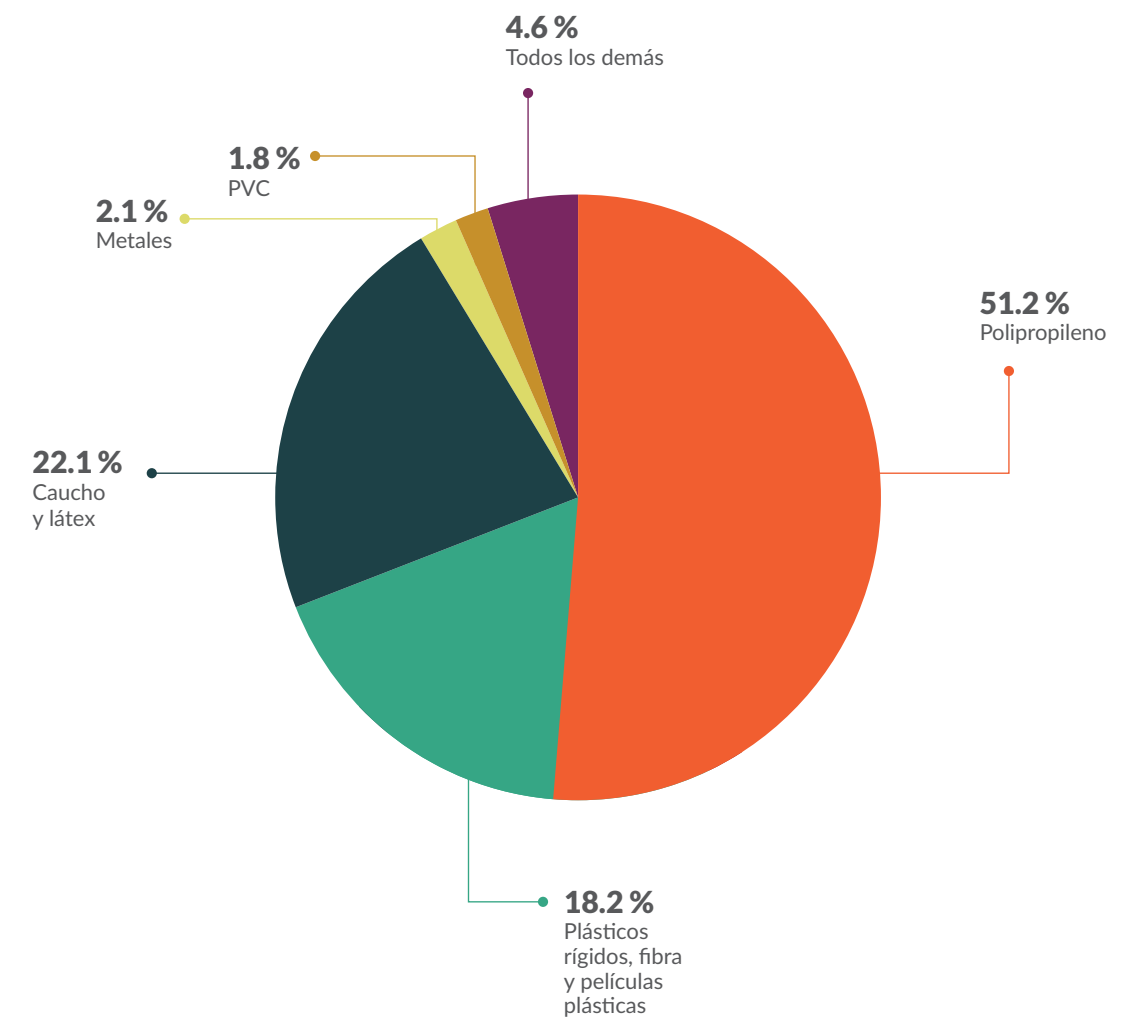
Yucatán, con ningún centro ubicado cerca de la playa, y Jalisco, con solo dos centros cercanos a la zona costera de Puerto Vallarta. La única entidad federativa que presenta una tendencia contraria es Baja California Sur, donde 10 de los 11 centros de acopio registrados se encuentran distribuidos en su mayoría en los municipios de La Paz y Los Cabos, que se encuentran cerca de la costa (98). Una tendencia similar ocurre en la región del Caribe Mexicano, en donde la mayoría de los Centros de Acopio se encuentran en las ciudades con gran actividad de la industria de “playa y sol”, sin embargo sólo 3 de estos se encuentran en una posición muy cercana a la playa, mientras que los demás se encuentran en la zona centro. Aun con 414 centros de acopio distribuidos en las regiones costeras, la cantidad registrada de centros ubicados en la región centro del país sigue siendo mayor, tan solo la cantidad de centros disponibles para la Ciudad de México es superior al total de centros de acopio presentes en cualquiera de las zonas costeras del país, como se observa en la Figura 8.



**Figura 8.** Distribución de centros de acopio en todas las regiones de México. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecolana.com (97)

### ¿Qué residuos plásticos se acopian y reciclan en México?

En el Estudio Cuantitativo de la Industria del Reciclaje de Plástico en México (99) se presenta la distribución de plásticos reciclados en el país con base en el tipo de resina (Figura 9). Se observa que los polietilenos constituyen la mitad de los plásticos que son reciclados en México, sin embargo debe considerarse que en estas cifras se incluyen los residuos posconsumo generados tanto por la ciudadanía, como en los procesos industriales y comerciales.



**Figura 9.** Distribución de plásticos reciclados en México. Adaptado de ANIPAC, 2021



El análisis de los residuos que separa la población para su reciclaje muestra un escenario diferente. En general, en los centros de acopio registrados en Ecolana se reciben los residuos plásticos que se muestran a continuación (97):

- ➔ Bolsas de poliestireno de alta densidad (PEAD)
- ➔ Polipropileno biorientado (BOPP), usado en envolturas metalizadas
- ➔ Envases de productos de belleza
- ➔ Envases flexibles de polietileno de baja densidad (PEBD)
- ➔ Polietileno de alta densidad
- ➔ Poliestireno de baja densidad
- ➔ Polietileno tereftalato (PET)
- ➔ Plástico duro (generalmente es polietileno)
- ➔ Playo (generalmente es polietileno)
- ➔ Poliestireno, unice (PS)
- ➔ Tapitas (polietileno o polipropileno)
- ➔ Tarjetas de plástico (ej. de débito o crédito)
- ➔ Tubos de pasta dental
- ➔ Cepillos de dientes

Puede observarse que las categorías no son excluyentes, pues cada centro de acopio fija su propio esquema de clasificación de residuos plásticos.

Para las cuatro regiones costeras, los centros de acopio con mayor distribución son los destinados a la recolección de PET, tapitas y residuos de PEAD (Tabla 9), mientras que los residuos menos recolectados son el polipropileno biorientado, el playo y el unice.

**Tabla 9.** Distribución de centros de acopio para diferentes tipos de residuos plásticos en las regiones costeras de México

TIPOS DE RESIDUOS PLÁSTICOS RECIBIDOS	NÚMERO DE CENTROS DE ACOPIO			
	GOLFO DE MÉXICO	GOLFO DE CALIFORNIA	PACIFICO CENTRO	CARIBE
Bolsas PEAD	16	0	5	0
BOPP	4	0	2	0
Envases flexibles PEBD	15	1	9	1
PEAD	11	26	39	15
PEBD	2	0	0	1
PET	31	36	48	15
Plástico duro	5	11	9	3
Playo	4	1	9	3
Poliestireno	0	0	2	0
Tapitas	6	10	57	4
Tubos de pasta dental	0	0	1	0
Unice	8	2	1	0
Cepillo de dientes	0	0	1	0

En los estados costeros los centros de acopio se enfocan principalmente en el PET y el PEAD, mientras que en los centros de acopio que se encuentran en la región centro también se reciben otros residuos plásticos como el polipropileno, el plástico duro y las bolsas de PEAD (96,97). Aunque en México hay una gran generación de residuos plásticos, sólo se reciclan los que cumplan con ciertas características como una alta oferta y demanda de centros de reciclaje, buena rentabilidad del proceso y disponibilidad de infraestructura adecuada (96). Debido a esto, en gran parte de los centros de acopio del país



se recibe una mayor proporción de otro tipo de residuos valorizables como aluminio, vidrio, papel, cartón y hojalata de acero. La rentabilidad de los procesos de reciclaje es un factor decisivo para la elección del tipo de residuos susceptibles a valorización (100).

Por ejemplo, las latas de aluminio debido a su alto precio de venta (\$18.00 por kilogramo) (101), la necesidad de poco espacio para almacenarse y la poca o nula pérdida de sus

propiedades durante el proceso de reciclaje, son uno de los subproductos con mayor índice de recuperación en México, especialmente por el sector informal (96,102). Otros metales como el acero, el aluminio, el fierro, el bronce y el cobre también son altamente recuperados debido a que en los centros de acopio se paga entre \$13 a \$100 por kilogramo del subproducto (101), su facilidad para fundirse y formar nuevas piezas metálicas los convierte en uno de los residuos más aprovechables (96,102). Como los metales, el papel también pertenece a la categoría de residuos reciclables privilegiados en México. El kilogramo de este material se vende entre \$2 a \$6 en los centros de acopio dependiendo del tipo de papel que sea (papel bond, archivo, periódico y revista) (101), además, permite hasta ocho ciclos de reciclaje sin que las propiedades del producto final se vean afectadas (103).



Respecto a los residuos plásticos, el reciclaje del PET (con un precio de venta de \$9.5 por kilogramos) (101) ha tenido un gran éxito en el país. En México se recupera el 56% del PET generado a través del acopio, una tasa similar a la que se presenta en la Unión Europea (104). Desafortunadamente, el caso de éxito que presenta el país con la recuperación del PET no se repite para otros tipos de plásticos como PEAD, PEBD, polipropileno y poliestireno, algo que se ve reflejado en la cantidad de centros de acopio que se encuentran distribuidos a lo largo de la República Mexicana para este tipo de residuos (97). Para algunos residuos plásticos como el PEAD, cuyo precio de venta es cercano al del PET (\$8 por kilogramo) (101) la deficiencia de centros de acopio está relacionada con el costo tan alto que supone su almacenamiento y acondicionamiento, así como una mayor preferencia hacia la resina virgen. Un problema similar se presenta para el PEBD, ya que para ser vendido debe estar triturado y aglomerado (105). En algunos casos como el unicel, además el poco valor económico que tiene como residuo valorizable, las industrias que cuentan con la infraestructura para su reciclaje son pocas o nulas, aun cuando la legislación mexicana obliga a que este proceso se lleve a cabo. Además, la baja densidad de este material implica el almacenamiento de grandes volúmenes de este (96).



# CAPÍTULO 5. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

La solución a la problemática derivada de los residuos plásticos se ha planteado a través de medidas regulatorias, de mercado, educativas y de concientización, que buscan disminuir la generación de estos residuos o darles un manejo al final de su vida que permita mitigar los impactos ambientales. Sin embargo, al considerar cualquiera de estas medidas, es indispensable hacerlo bajo un enfoque que abarque todo el ciclo de vida de los productos, así como los posibles impactos que pueden generarse (Figura 10).

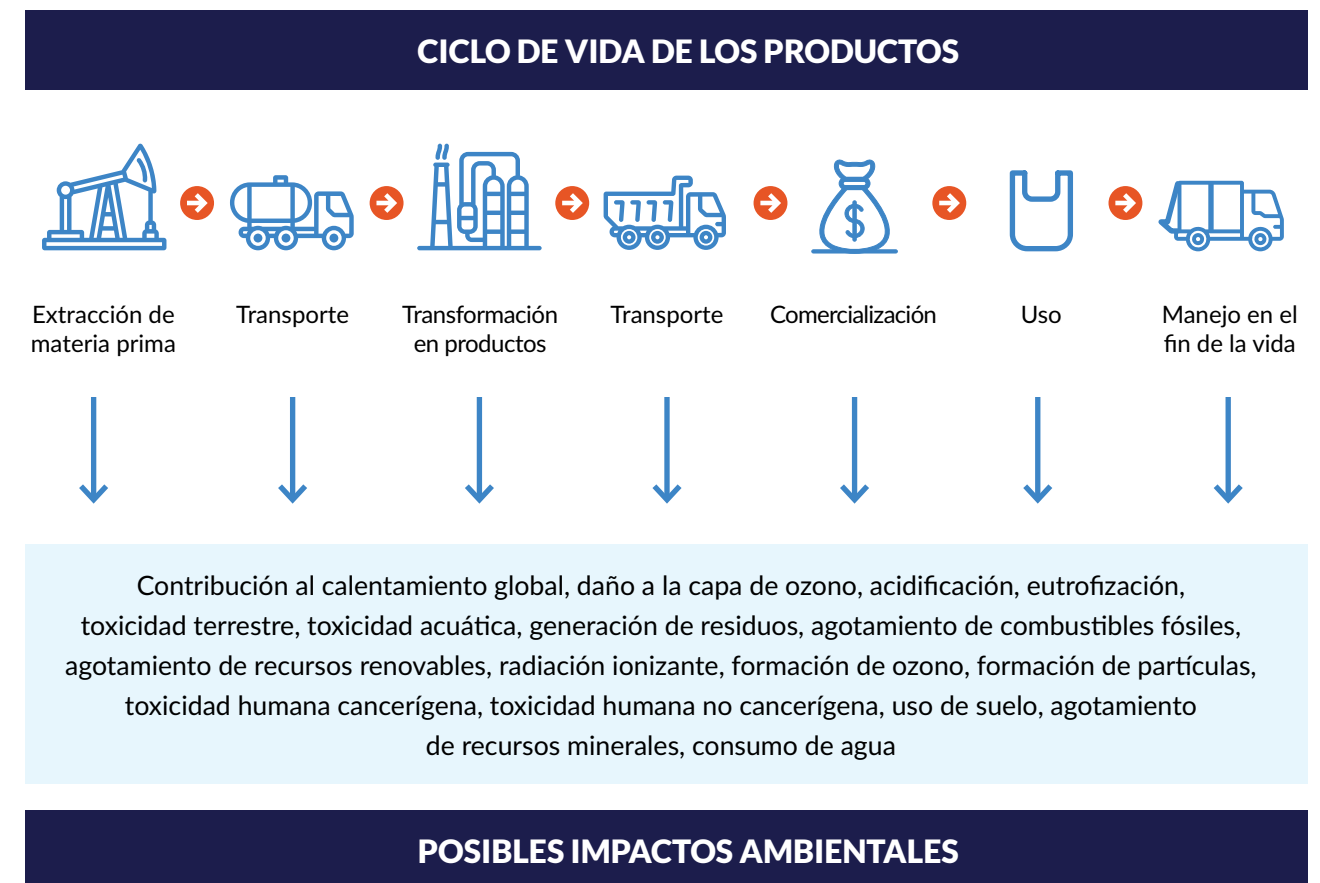


Figura 10. Posibles impactos en el ciclo de vida de un producto

El análisis de los impactos generados en el ciclo de vida de un producto se realiza mediante procesos estandarizados, que permiten comparar alternativas en términos de diseño, uso de materiales o formas de manejo. En el caso de los residuos plásticos se ha convertido en una herramienta básica de evaluación; no obstante, es necesario señalar que los resultados de un estudio específico no pueden aplicarse directamente a un contexto diferente al que le dio origen, y que además no contempla efectos ambientales específicos, como la formación de microplásticos. A pesar de lo anterior, el análisis global de este tipo de evaluaciones permite identificar pautas y tendencias generales.

Las distintas alternativas, en general, plantean algunas de las estrategias definidas en el contexto de la economía circular, como el ecodiseño, la reutilización individual o a través de sistemas de retorno y el reciclaje (16,106), como se muestra en la Figura 11. Debido al tipo de residuos que se encuentran generalmente en los entornos costeros, las alternativas de reparación y re-manufactura son en general menos aplicables.



### 5.1. ESTRATEGIAS PARA DISMINUIR EL IMPACTO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS

Se han propuesto distintas estrategias para disminuir el impacto ambiental de los productos plásticos a partir de análisis globales, regionales y locales (107-110). En la Tabla 10 se enlistan algunas de las más comunes, que se describen posteriormente.

**Tabla 10.** Estrategias para disminuir el impacto de los residuos plásticos. Elaboración propia a partir del PNUMA/UNEP, 2021 y PNUMA/UNEP et al., 2020 (108,109)

TIPO DE MEDIDA	EJEMPLOS
Regulatoria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Políticas públicas, leyes, reglamentos y normas relacionados con la gestión de residuos y la economía circular</li> <li>• Prohibiciones de productos específicos</li> <li>• Restricciones a la importación de residuos</li> <li>• Ecoetiquetado</li> <li>• Obligatoriedad de reportar el uso de ciertos tipos de plástico</li> <li>• Esquemas de responsabilidad extendida</li> <li>• Restricción en el uso de productos plásticos no reciclables</li> <li>• Separación de residuos</li> <li>• Metas de ecodiseño y reciclaje</li> </ul>
De mercado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impuestos en el uso de ciertos productos</li> <li>• Impuestos al depósito de ciertos residuos en sitios de disposición</li> <li>• Subsidios a empresas y productos deseables</li> <li>• Cobro por la recolección de residuos en función del volumen</li> <li>• Sistemas de depósito</li> </ul>
Voluntaria o de información	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de estudios específicos sobre temas relacionados</li> <li>• Certificaciones y ecoetiquetado</li> <li>• Reporte por parte de empresas</li> <li>• Guías de buenas prácticas</li> <li>• Campañas educativas</li> <li>• Acuerdos voluntarios</li> <li>• Concientización de distintos actores</li> </ul>

El análisis desarrollado por Ramírez Ortiz describe las principales estrategias para el control de la contaminación por residuos plásticos (111).

### Prohibiciones

Entre las medidas regulatorias más comunes adoptadas por los países con relación a los productos plásticos de un solo uso se encuentran las prohibiciones. Tienen como objetivo restringir la disponibilidad en el mercado de productos que se utilizan una vez y luego se descartan, al prohibir su fabricación, producción, importación, distribución, suministro, venta y/o uso.

### Instrumentos económicos

Los instrumentos económicos son los que imponen sanciones económicas para desalentar determinados comportamientos u ofrecen incentivos económicos para fomentar comportamientos alternativos. Las sanciones incluyen impuestos a los productores, distribuidores y usuarios de plástico de un solo uso. También se otorgan incentivos como créditos fiscales y subsidios a personas o entidades que tengan comportamientos que reduzcan la producción o el uso de ciertos productos plásticos.

#### a) Impuestos, gravámenes y tazas

Los impuestos son cargas impuestas por los gobiernos. Pueden servir como sanciones para ciertos tipos de comportamiento, como la fabricación, venta o compra de plásticos de un solo uso. Al aumentar el costo, el impuesto crea un desincentivo económico para participar en ese comportamiento.

#### b) Incentivos fiscales

Se pueden generar incentivos a través de la deducción de impuestos a productos específicos, así como a características deseables. Un ejemplo de esto sería disminuir las tasas impositivas a los productos fabricados con materia prima reciclada.

### Normas, certificación y etiquetado

A nivel mundial la estandarización implica establecer criterios y pautas aceptados para la calidad, seguridad y aceptabilidad de los productos, así como evaluar las afirmaciones de la industria. Los estándares relevantes para los plásticos de un solo uso generalmente están asociados con riesgos de seguridad e impactos ambientales; se refieren, por ejemplo, a sustancias nocivas, contenido reciclado, biodegradabilidad, compostabilidad, reciclabilidad y plásticos de base biológica. Según la OCDE, la estandarización de productos reduce la probabilidad de plásticos de un solo uso fuera de especificación y permite una mejor gestión de un producto una vez que se convierte en residuo. Según la empresa europea Bioplastics, los estándares de productos también ayudan a garantizar una competencia leal, promueven el crecimiento comercial superando las barreras que resultan de especificaciones y comunicaciones poco claras o inconsistentes, y ayudan a prevenir el comportamiento fraudulento del mercado.

### Materiales degradables, biodegradables y compostables

En diversos países se observan excepciones en la legislación y diferentes políticas que promueven el uso de productos plásticos degradables, biodegradables y/o compostables. En especial, los productos plásticos biodegradables siguen el proceso mediante el cual las sustancias son transformadas por microorganismos o por las enzimas que estos generan, en el transcurso el carbono orgánico presente en las moléculas se transforma en compuestos simples como el bióxido de carbono CO<sub>2</sub> y metano CH<sub>4</sub>, a través de un proceso conocido como mineralización. Los plásticos biodegradables pueden fabricarse a partir de recursos renovables o de combustibles fósiles, dado que la biodegradabilidad no es función del material de origen, sino de la estructura química del plástico. Por lo tanto, la mayoría de los plásticos biodegradables han sido diseñados para sufrir este proceso en un entorno específico, haciéndolos susceptibles a los microorganismos presentes en los procesos de composteo, los ambientes marinos o, en menor medida, ambientes sin oxígeno como los que se encuentran en los sistemas de producción de biogás a partir de residuos (112).



### Responsabilidad extendida del productor

Los esquemas de responsabilidad extendida del productor (REP) también son una parte fundamental para garantizar el reciclaje y la eliminación adecuada de los residuos. La REP se ha definido como "un principio de política para promover mejoras ambientales del ciclo de vida total de los sistemas del producto al extender las responsabilidades del fabricante del producto a varias partes del ciclo de vida completo del producto, y especialmente a la devolución, reciclaje y eliminación del producto. Los formuladores de políticas y los legisladores tienen varias opciones para promover la reutilización y el reciclaje utilizando prácticas de gestión ambientalmente racionales. En muchos países, estos enfoques se consideran parte de su enfoque de REP.

### Esquemas de devolución y depósito-reembolso

Los esquemas de devolución y depósito-reembolso se han descrito como "instrumentos basados en el mercado que combinan un impuesto o una tasa de eliminación (depósito) al comprar un producto, con un subsidio de reciclaje (reembolso) cuando el producto se recolecta y/o recicla". Los sistemas de depósito-reembolso tienen como objetivo aumentar la proporción de enva-



ses vacíos devueltos por los consumidores a los puntos de recogida/recogida. Proporcionan un pequeño depósito que se reembolsará a los consumidores o recolectores que devuelvan los envases de bebidas recetados para su reciclaje. Son considerados una forma de REP descendente. Los sistemas de depósito-reembolso ayudan a aumentar la reutilización de los productos de embalaje y el reciclaje de material de embalaje al ofrecer a los consumidores un incentivo para devolver los embalajes vacíos.

### Otras medidas importantes

Otros enfoques regulatorios consideran otras medidas importantes que los gobiernos han utilizado para abordar los productos plásticos de un solo uso. En concreto, destacan los programas de educación al consumidor, la promoción de productos alternativos a través de medidas como fondos y premios, requisitos de contratación pública, incentivos de reutilización y alianzas público-privadas. Sin embargo, estos son solo una muestra de

algunos de los enfoques innovadores que han adoptado los gobiernos para reducir y gestionar los plásticos de un solo uso.

## 5.2. APLICABILIDAD DE LOS DISTINTOS TIPOS DE MEDIDAS

El análisis de los distintos tipos de medidas ha permitido prever, en forma general, la aplicabilidad de los distintos tipos de medidas para diferentes residuos y nivel económico regional (113). Los resultados para países de ingresos medios, como México, se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Viabilidad de aplicación de medidas relacionadas con residuos plásticos en países con nivel económico medio. Adaptado de Pew Charitable Trust, 2020 (114)

MEDIDA	TIPO DE ENTORNO		CATEGORÍAS DE RESIDUOS PLÁSTICOS			
	Urbano	Rural	Rígidos	Flexibles	Multicapas	Microplásticos
Disminuir consumo de plásticos	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Sustitución con materiales alternativos	Alta	Alta	Media	Alta	Media	Alta
Diseño que facilite el reciclaje	Alta	Alta	Media	Media	Alta	Baja
Aumento en la eficiencia de recolección de residuos	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Aumento en la capacidad de reciclaje mecánico	Alta	Media	Alta	Media	Baja	Baja
Aumento en la capacidad de reciclaje químico	Alta	Baja	Baja	Alta	Alta	Baja
Eficiencia en la disposición de residuos	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Reducción en la exportación de residuos plásticos	Alta	Baja	Alta	Media	Baja	Baja

Puede observarse que las medidas que tienen un mayor potencial benéfico, para distintos tipos de entornos y residuos plásticos son la reducción en el consumo, el aumento en la eficiencia de recolección y disposición de residuos.

## 5.3. MEDIDAS PARA LA REGULACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN MÉXICO

Ramírez Ortiz analizó el estado de las regulaciones de plásticos en las entidades del territorio nacional, a través de los instrumentos legales y la gestión de residuos en cada estado (111). Sus principales hallazgos fueron:

- ➔ El 88% de las entidades han establecido regulaciones para las bolsas de plástico, 72% para los popotes y 25% para contenedores, empaques y envases de poliestireno expandido. Al menos 50% de los estados cuentan con regulaciones que plantean una prohibición hacia los plásticos, 15% promueven la eliminación y 15% han establecido la sustitución gradual. El 37% de los estados plantean excepciones para materiales biodegradables, 34% por cuestiones médicas o de salud y 28% por conservación de alimentos.
- ➔ En muchos casos se promueve la sustitución o excepciones para plásticos reciclables, biodegradables y compostables.
- ➔ Con base en la información oficial de las entidades y la publicada por SEMARNAT, se encontró que 16% de los estados no incluyen el término de separación en su legislación sobre residuos, 50% no registran procesos de separación, 47% de los estados no incluyen el composteo en sus leyes estatales, 56% no cuentan con plantas de composta, 34% no reporta centros de acopio y al menos 28% de los estados no cuentan con normas complementarias que permitan evaluar lo que se pide en sus regulaciones relacionadas con los plásticos.
- ➔ La eficacia máxima de las medidas adoptadas, si se contara con la infraestructura y gestión adecuada, oscilaría entre el 0.01% y el 12.34% de reducción en los residuos que llegan a sitios de disposición; sin embargo, la falta de procesos de separación, reciclaje y composteo hace poco probable que se alcancen dichas cifras.
- ➔ En muchos casos, aunque podría reducirse la cantidad de plásticos que llegan a rellenos y tiraderos, la generación de residuos no disminuiría, pues serían sustituidos por otros desechables biodegradables, compostables o reciclables.





Debido a lo anterior, puede concluirse que las medidas implantadas hasta el momento en México, además de variar entre una entidad y otra, tienen un bajo nivel de eficiencia a causa de las deficiencias en la gestión de residuos y de la carencia de marcos regulatorios complementarios no permiten que generen beneficios ambientales.

#### 5.4. ¿QUÉ PLÁSTICOS HAY QUE REGULAR EN MÉXICO?

A partir de los resultados de los muestreos de campo y el análisis de la información presentada en este informe se puede estimar, de forma cualitativa, el posible impacto de los distintos residuos y las limitaciones para la aplicación de las estrategias de economía circular, como se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12. Identificación de residuos plásticos con mayor potencial de impacto y menor circularidad

	POTENCIAL DE IMPACTO				INCOMPATIBILIDAD CON MEDIDAS DE ECONOMÍA CIRCULAR	
	Presencia en ambientes costeros	Potencial para atraer contaminantes hidrofóbicos	Facilidad de degradación	Potencial de daño a especies	Reusabilidad limitada	Reciclabilidad limitada
Tapas de botella	Alto	Medio	Bajo	Medio	Alto	Bajo
Bolsas y envolturas de plástico	Alto	Medio	Bajo	Medio	Medio	Medio
Cubiertos desechables y popotes	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Alto
Tazas, vasos y platos	Alto	Medio	Medio	Alto	Medio	Alto
Recipientes de unicel	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	Medio
Juguetes, globos y ligas	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio	Alto
Botellas menores a 3 L	Medio	Medio	Bajo	Alto	Bajo	Bajo
Arillos para bebidas	Medio	Medio	Bajo	Medio	Alto	Alto
Encendedores	Medio	Medio	Bajo	Medio	Medio	Alto
Artículos de pesca	Medio	Medio	Bajo	Alto	Medio	Alto
Botellas mayores a 3 L	Bajo	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo

Alto Medio Bajo

## 5.5. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LOS DISTINTOS RESIDUOS

Con el fin de evaluar de manera integral distintas alternativas se realizó una revisión de distintos informes de análisis de ciclo de vida (ACV), generados a partir de investigaciones científicas. Los principales resultados se describen a continuación, y la información técnica de las investigaciones consultadas se presenta en el Anexo 2. Los hallazgos principales derivados de un meta-análisis realizado por el PNUMA y otros estudios disponibles en la literatura. Pero debe tomarse en cuenta que productos específicos pueden tener un impacto ambiental diferente dependiendo de la materia prima utilizada en su fabricación, el transporte, condiciones de uso y disposición final, entre otros factores.

### Bolsas de plástico

Los análisis de ciclo de vida (ACV) de las bolsas de plástico se centran en dos puntos principales: diferentes materiales y distintos sistemas de disposición final; la mayoría de los artículos evalúan los dos aspectos al mismo tiempo. Los ACV relacionados con bolsas de plástico y materiales alternativos, como bolsas reutilizables o biobasadas de plástico, bolsas de papel, bolsas biodegradables, bolsas reutilizables de polipropileno y de otros materiales arrojaron lo siguiente (108, 117-121):

- ➔ Las bolsas de plástico de un solo uso generan mayores impactos relacionados con la disposición no controlada en el suelo o el mar, así como en la formación de microplásticos.
- ➔ Las bolsas de plástico de un solo uso generan menores impactos en términos de cambio climático, acidificación, eutrofización, uso de agua y de suelo.
- ➔ Las bolsas con mayor espesor generan mayores impactos cuando se usan el mismo número de veces que bolsas más delgadas.
- ➔ Utilizar una bolsa de plástico dos veces para acarrear o guardar mercancía, o para almacenar residuos, disminuye su impacto ambiental, al reducir la extracción de recursos y la saturación de sitios de disposición.
- ➔ La incineración de las bolsas de plástico genera CO<sub>2</sub>, que contribuye al calentamiento global.

- ➔ El impacto ambiental de las bolsas de papel depende, en gran medida, del tipo de combustible usado en su fabricación.
- ➔ Las bolsas de papel que llegan a los sitios de disposición provocan emisiones de metano que contribuyen al calentamiento global en mayor medida que las bolsas de plástico.
- ➔ Todos los tipos de bolsas disminuyen sus impactos cuando se reciclan, con excepción de las bolsas compostables, que lo hacen sólo si se compostean.
- ➔ A menos que se piense en recuperación energética, los rellenos sanitarios son la opción menos viable para las bolsas biobasadas.
- ➔ La incineración de bolsas de polietileno (PE) genera aproximadamente el doble de gases de efecto invernadero en comparación con la incineración.

Recomendaciones para disminuir el impacto ambiental de las bolsas de acarreo (108,120):

- ➔ Promover el cambio de conducta del consumidor, de forma que las bolsas, independientemente del material del que estén hechas, se reutilicen y no se dispongan en el ambiente.
- ➔ Aumentar la durabilidad de las bolsas.
- ➔ Aumentar la eficiencia de la gestión de residuos.
- ➔ Generar mecanismos que hagan que las bolsas reutilizables sean accesibles para la población.
- ➔ Si se plantean políticas de prohibición, evaluar previamente los impactos de las distintas alternativas en el contexto local.
- ➔ Tomar en cuenta las condiciones locales de gestión de residuos.
- ➔ Para bolsas de plástico, contar con proveedores locales.

### ¿Cuántas veces hay que usar distintos tipos de bolsas para disminuir su impacto ambiental de forma significativa (120)?

Bolsas de papel: 4-8

Bolsas de tela de algodón: 50-150

Bolsas reutilizables de polietileno: 5-10

Bolsas de polipropileno no tejido: 10-20





### Tapas de botellas

A través de análisis de ciclo de vida (ACV) se ha evaluado el uso de distintos materiales y diseños (121,122). Los principales hallazgos son:

- ➔ Aunque la incorporación parcial de materiales renovables disminuye los impactos ambientales, las tapas hechas totalmente de PLA y PEAD son más económicas.
- ➔ El impacto puede reducirse al disminuir la masa de material empleada en la tapa.
- ➔ El mayor impacto se encuentra en la etapa de producción.

Recomendaciones para disminuir el impacto ambiental de las tapas de botellas:

- ➔ Las investigaciones en este sentido deben enfocarse al rediseño o nuevos escenarios de producción.

**Se ha propuesto la utilización de tapas y tapones unidos a la botella,** con el fin de facilitar su manejo y aumentar las tasas de reciclaje de las mismas. Esta medida es obligatoria para todas las botellas de PET de menos de 3 litros en la Unión Europea (123,124).

### Envolturas y empaques de plástico

Se ha comparado el impacto de las envolturas de plástico con el generado por materiales como el aluminio, los empaque multilaminados y el vidrio, además de considerar el uso de plásticos reciclados y biobasados (108,125). Se ha encontrado lo siguiente:

- ➔ Los empaques de aluminio generan mayores impactos en términos de agotamiento de recursos, daño a la capa de ozono, toxicidad humana, ecotoxicidad terrestre y marina.
- ➔ Los envases de polipropileno generan los mayores impactos en agotamiento de combustibles fósiles, acidificación, eutrofización, ecotoxicidad de agua dulce, cambio climático, generación de ozono fotoquímico y demanda de energía.
- ➔ Los empaques de papel y cartón son preferibles sólo si su destino final es la composta o el reciclaje.

Recomendaciones para reducir el impacto ambiental de las envolturas plásticas (125):

- ➔ Considerar, además del impacto ambiental de las distintas alternativas, factores como la disminución en las pérdidas de alimentos.
- ➔ Favorecer las opciones reutilizables, articuladas con sistemas de reutilización que contemplen formas de entrega y retorno, tecnologías de limpieza y prácticas de utilización, garantizando las condiciones sanitarias requeridas.

### Popotes

Se encontraron en la literatura dos artículos que evalúan el ciclo de vida de los popotes (126–128), en los cuales se analizan materiales alternativos como el acero inoxidable. Los resultados mostraron que:

- ➔ Los popotes reutilizables de plástico tienen un desempeño favorable en 10 de las 11 categorías en comparación con los popotes de papel.
- ➔ Los consumos de agua y detergente durante la fase de uso y la fabricación de elementos adicionales (bolsa, cepillo) aumentan el impacto en el caso de los popotes reutilizables.
- ➔ El mayor impacto se genera en términos de potencial de calentamiento

global; por cada popote de plástico fabricado, se liberan a la atmósfera 140 g de CO<sub>2</sub> equivalente, mientras que para un popote de acero inoxidable se emiten 520 g CO<sub>2</sub> equivalentes.

Recomendaciones para reducir el impacto ambiental de los popotes:

- ➔ Eliminar los desechables que se agregan de forma automática en la venta de productos, como los entregados en la comida a domicilio.

### Tazas, platos, vasos y cubiertos desechables

Las tazas, platos, vasos y cubiertos de plástico en muchos casos se consideran desechables. Distintos estudios han comparado su impacto ambiental con el de alternativas compostables, biobasadas, multilaminados y alternativas reutilizables, así como otros materiales (108,128-141). Los principales hallazgos son:

- ➔ Los productos desechables tienen impactos similares y mayores que los reutilizables, independientemente del material con que están fabricados.
- ➔ Los desechables compostables tiene un menor impacto ambiental siempre y cuando su destino sea el composteo. En rellenos sanitarios pueden ser contraproducentes.
- ➔ Los mayores impactos, para todas las alternativas, se generan durante su producción y transporte.
- ➔ El impacto se aumenta si las tazas o vasos incluyen tapas, mangas o sistemas de acarreo.
- ➔ El impacto de los productos reutilizables se incrementa si se lavan con agua caliente.



**Las tazas y vasos reutilizables deben usarse entre 20 y 70 veces para que su impacto en términos de agotamiento de recursos fósiles y calentamiento global sea más bajo que el de los fabricados con PET, PP o PLA.**



Recomendaciones para reducir el impacto ambiental de las tazas, platos, vasos y cubiertos desechables:

- ➔ Promover la reutilización de tazas, platos y vasos en general, así como en eventos y espacios cerrados.
- ➔ Antes de tomar medidas específicas, analizar el contexto del uso y fin de vida de estos productos, considerando aspectos como las opciones de reciclaje, manejo en el fin de vida y las prácticas de consumo de alimentos.
- ➔ Promover la producción de alternativas ligeras pero resistentes.
- ➔ Evitar la disposición en relleno sanitario.

### Botellas de plástico

El impacto ambiental de las botellas de plástico, elaboradas principalmente de PET y PEAD, ha sido comparado con el de las fabricadas con materiales reciclados, ácido poliláctico (PLA) y PET biobasado, así como con contenedores de bebidas hechos de aluminio, cartón, vidrio y acero (108,142-150). Mientras que el PET se utiliza principalmente para envasar agua y refrescos, las botellas de PEAD tiene diversas aplicaciones entre las más comunes se encuentran el contenido de artículos de limpieza, de cuidado personal, alimentos y algunos productos para automóviles.



A pesar de contar con una cantidad considerable de ACV para las botellas, la mayoría de los estudios provienen de países desarrollados, por lo que se puede visualizar claramente la necesidad de tener este tipo de análisis para países en desarrollo. Los hallazgos más relevantes son (108,145,151-156):

#### Para envases de bebidas

- ➔ Las botellas de vidrio desechables generan mayores impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida.
- ➔ Las botellas de PET tienen menores impactos que las latas de aluminio, salvo en términos de eutrofización, agotamiento de la capa de ozono y potencial de ecotoxicidad.
- ➔ En el caso de las botellas de PET, estas tienen un impacto proporcionalmente menor cuando su volumen es alto.
- ➔ Las botellas fabricadas con PET de origen renovable tienen menor impacto en calentamiento global que las de PET de origen fósil, sin embargo tienen impactos más altos en términos de ecotoxicidad y agotamiento de la capa de ozono.

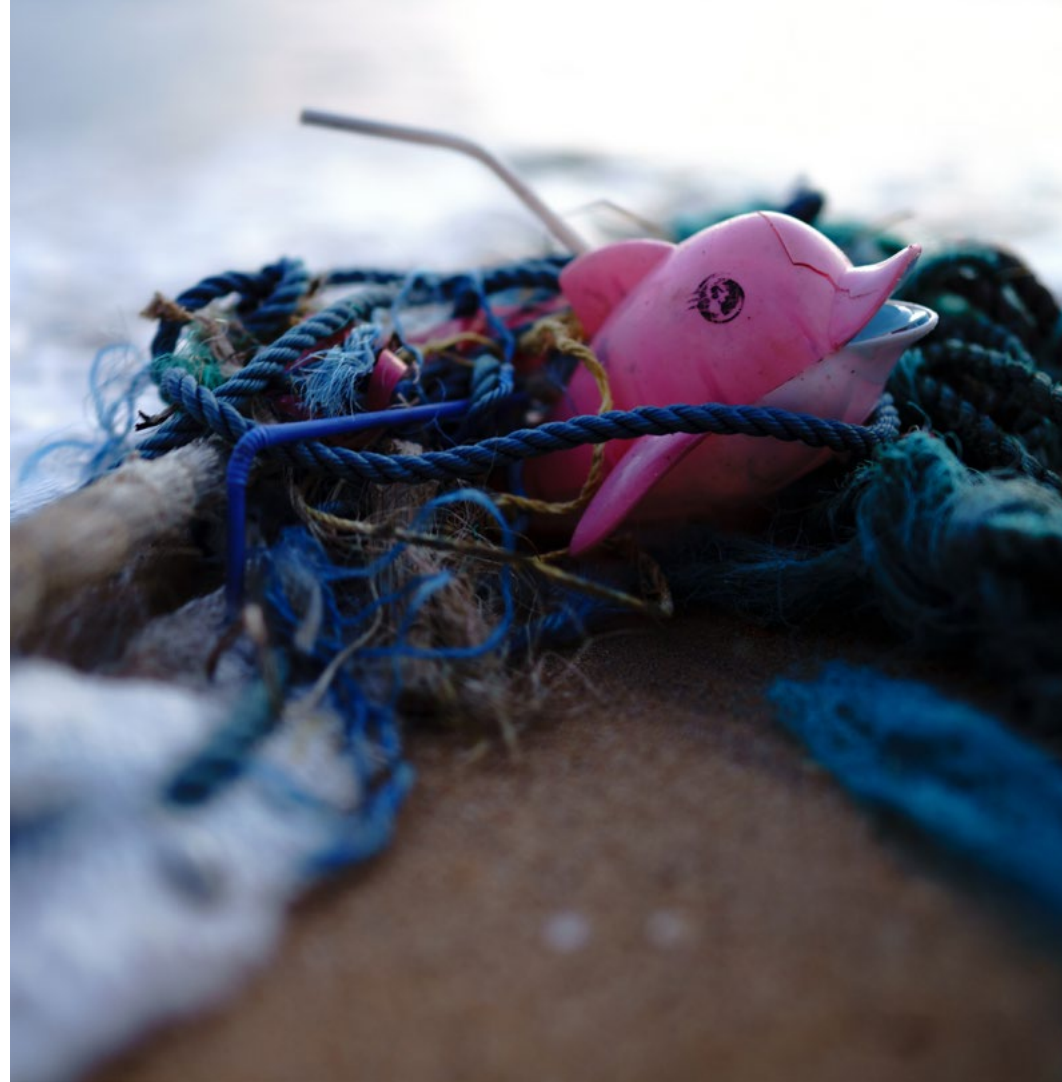
- ➔ Los envases de aluminio tienen mayor impacto que los de PET.
- ➔ Aunque el ácido poliláctico (PLA) es biobasado, biodegradable y tiene menores impactos, no es funcional para el envasado de bebidas carbonatadas.
- ➔ Las botellas de vidrio necesitan ser reutilizadas al menos 3-8 veces para hacer que su desempeño ambiental sea comparable al de las botellas de PET o latas de aluminio, de lo contrario tendrán un impacto mayor.
- ➔ Aumentar el reciclaje de PET del 24% al 60% puede reducir el impacto climático en 50%.
- ➔ El impacto ambiental de los distintos tipos de botellas depende de factores como el lugar donde se realiza la producción, el manejo en el fin de vida y la forma de uso.
- ➔ El uso de envases para agua es relevante en lugares donde no se puede beber directamente el agua de la red de distribución.

#### Para envases de productos de limpieza, alimentos y cuidado personal

- ➔ Los empaques flexibles tienen menores impactos en muchas categorías, debido a que utilizan menos material, aunque son menos reciclables.
- ➔ Los envases de vidrio tienen mayores impactos que los de PEAD.
  - ➔ Los modelos de recarga y sustitución redujeron el impacto medioambiental en un 20% y un 25%, respectivamente, en comparación con el modelo convencional de botella.
- ➔ Para envasar leche, el envase de cartón laminado tiene menor impacto que el de plástico, si su destino final es el reciclaje.

Recomendaciones para disminuir el impacto ambiental de las botellas de plástico (151)

- ➔ Considerar las condiciones locales de producción de las distintas alternativas, como la eficiencia de producción y el origen de la materia prima.
- ➔ Tomar en cuenta las distintas alternativas disponibles para el manejo en el fin de vida, especialmente la viabilidad de reciclaje.
- ➔ Promover diseños de envases que permitan el transporte eficiente.
- ➔ El reciclaje genera menores impactos que la valorización energética.



### Otros residuos plásticos

No se encontraron en la literatura científica estudios que analicen el impacto de juguetes de playa, globos, arillos para bebidas, artículos de pesca o espumas de aislamiento y embalaje, usando la metodología del análisis de ciclo de vida (ACV). Sin embargo, para algunos de ellos se han identificado tanto su impacto potencial cuando se convierten en residuos como algunas alternativas.

#### a) Arillos para bebidas

Los arillos de plástico usados principalmente como embalaje de latas de bebidas generan impactos cuando distintas especies quedan atrapadas en los mismos, lo que impide su crecimiento adecuado, provoca malformaciones y daños funcionales.

Como solución se ha propuesto volver estos artículos fotodegradables, de forma que se fragmenten por acción del sol. Sin embargo, el proceso puede tomar

algunos meses en condiciones de exposición solar baja, y dar origen a la formación de microplásticos. También se han desarrollado arillos fabricados de materiales compostables, que pueden ser comestibles para distintas especies marinas, fabricados a partir de los subproductos de la fabricación de cerveza. Una tercera opción es el uso de adhesivos que sustituyan a los arillos, manteniendo unidas las latas de bebidas (157).

#### b) Artículos de pesca

Los artículos de pesca generan impactos debido a que pueden ser perdidos o abandonados en el mar. Esto es grave especialmente en el caso de las redes fantasma, que provocan enredamientos de distintas especies e incrementan su mortalidad. Las redes con mayor impacto son las que cuentan con un sistema de flotación en la parte superior y de anclaje en la parte inferior (20).

Las soluciones propuestas incluyen el uso de materiales degradables o biodegradables en los implementos de pesca, la mejora en las prácticas pesqueras y los programas periódicos de remoción de redes fantasma (20).

#### c) Juguetes de playa

Los juguetes de playa generan impactos al ser perdidos o abandonados. Algunos, como los pequeños balines usados como municiones en pistolas de juguete, se extravían fácilmente debido a su tamaño pequeño, que los ubica en la categoría de microplásticos (32). Entre las alternativas que se han propuesto para reducir su impacto está la fabricación de estos productos a partir de materiales reciclados o biodegradables.

#### d) Globos

El látex natural, a partir del cual se fabrican los globos, se considera biodegradable. Sin embargo, durante su procesamiento es tratado con compuestos químicos que actúan para protegerlo del ataque bacteriano, lo que disminuye drásticamente su biodegradabilidad. Debido a ello se han encontrado globos ingeridos por distintas especies marinas (158). Como alternativa se ha propuesto el uso de globos fabricados 100% de látex, aunque su degradación puede tomar varios meses.



## CAPÍTULO 6.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La información recopilada y analizada en este informe permite plantear las siguientes conclusiones:

El **marco regulatorio** en los tres niveles de gobierno debe ser consistente y perseguir metas comunes, por lo que es necesario un diálogo que permita identificar aspectos clave que deban ser regulados y promover acciones generales que puedan adaptarse a las distintas realidades que se viven en el país. Este marco regulatorio debe ser claro, articulado y diseñado a partir de definiciones comunes.

La solución a esta problemática debe plantearse en forma **sistémica**, evitando la generación de medidas aisladas. Además de los aspectos ambientales es indispensable considerar los **factores económicos y sociales** asociados a la producción, uso y manejo de los productos y residuos plásticos, a partir del diálogo y la participación de **todos los sectores involucrados**.

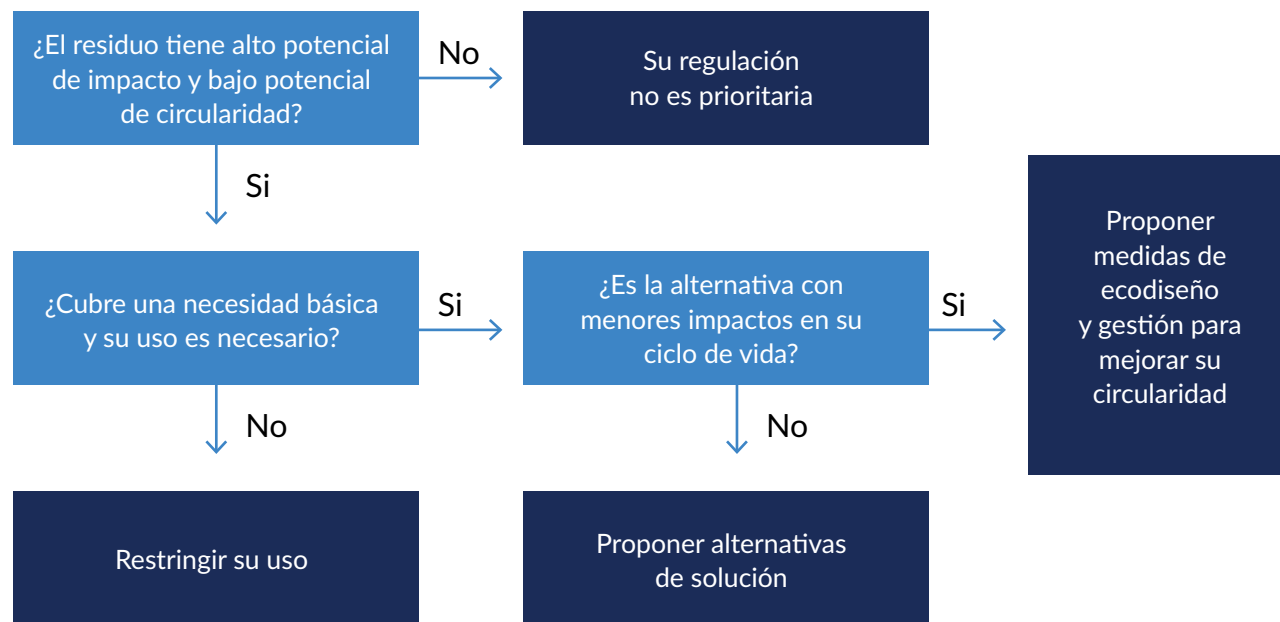
Las acciones deben desarrollarse a partir de la identificación de **puntos críticos**, y llevarse a cabo mediante **intervenciones e instrumentos** legales, económicos, de concientización y participación social. Es necesario **priorizar** las intervenciones e instrumentos con mejor relación beneficio/esfuerzo.

Debe evitarse la sustitución de **artículos desechables** por otros productos de un solo uso, independientemente del material con que estén fabricados, con el fin de disminuir el consumo de recursos y las necesidades de manejo

en el fin de vida. Es relevante, además, generar los mecanismos que permitan que los artículos reutilizables efectivamente se usen el mayor número de veces, de lo contrario su impacto ambiental será mayor; una forma de lograrlo es mediante mecanismos de evaluación y certificación que permitan garantizar su durabilidad.

Es indispensable considerar las condiciones locales de **gestión de residuos**, de manera que las medidas propuestas sean viables y puedan generar un impacto real. En especial se requiere promover la separación de residuos, así como garantizar una recolección y manejo posterior efectivos, que minimicen las fugas de residuos plásticos al ambiente.

**No existe una solución única** a los problemas derivados de la acumulación excesiva y el mal manejo de los residuos plásticos; cada tipo de producto requiere de un análisis específico que evalúe las distintas alternativas disponibles. El análisis de las distintas alternativas debe considerar los impactos a lo largo de todo el **ciclo de vida**, y no centrarse únicamente en el fin de vida de los productos, con el fin de elegir opciones que realmente generen un impacto ambiental menor. Para cada residuo específico es conveniente un análisis basado en el procedimiento que se muestra en la Figura 12.



**Figura 12.** Análisis de alternativas para distintos residuos plásticos

## 6.1. RECOMENDACIONES GENERALES

### Ámbito regulatorio

- ➔ Promover la actualización de la legislación ambiental federal en materia de residuos, dándole un enfoque orientado claramente a los principios de la economía circular, de manera que fije principios que deban ser replicados en los niveles locales y municipales.
- ➔ Llevar a cabo un análisis del marco regulatorio específico aplicable a las playas y zonas costeras nacionales, que permita identificar atribuciones y vacíos legales que inciden en la contaminación de estos ecosistemas.
- ➔ Promover la generación de un Plan de Acción Nacional para la reducción de la contaminación marina por plásticos y microplásticos, del cual se carece actualmente en el país.
- ➔ Analizar la posibilidad de implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor tomando en cuenta las condiciones locales de gestión de residuos, los casos internacionales de éxito y de países similares a México, con el fin de evaluar en qué medida y cómo podría aplicarse de forma concreta, considerando que debe, forzosamente, ir acompañada de cambios en la forma de gestión de los residuos
- ➔ Proponer medidas diferenciadas, más estrictas, para ecosistemas y regiones especialmente vulnerables a los efectos de los residuos plásticos, con el fin de proteger y preservar los servicios ambientales que brindan a la población.

### Producción y consumo responsable

- ➔ Privilegiar la sustitución de artículos de vida útil corta por opciones de mayor duración, menor peso y fabricados a partir de un solo material, evitando la sustitución de unos artículos desechables por otro.
- ➔ Promover la incorporación de material reciclado posconsumo en los productos plásticos, como una forma de incrementar la recuperación de materiales, la generación de empleo y la disminución de impactos ambientales.
- ➔ Establecer espacios permanentes de diálogo con el sector productivo y las organizaciones sociales, de manera que se identifiquen objetivos comunes que permitan avanzar en la construcción de soluciones.



78

- ➔ Desarrollar campañas informativas y de concientización dirigidas tanto al público en general como a sectores específicos, construidas a partir de información válida.

- ➔ Implementar los cambios de forma gradual, dando tiempo a la adaptación, capacitación y ajuste necesarios, tanto a los productores como a la sociedad.

### Gestión de residuos

- ➔ A menos que mejore de manera significativa la separación de residuos en la fuente y la implementación de procesos de composteo para residuos sólidos urbanos, evitar la sustitución de plásticos convencionales por alternativas biodegradables o compostables.

- ➔ Generar cambios regulatorios y programas de apoyo para la separación de residuos por parte de los generadores, a partir de estudios que permitan identificar las prioridades locales y fijar líneas base.

- ➔ Debido a que gran parte de los residuos que llegan al mar son generados en la plataforma continental y posteriormente transportados por ríos, se deben tomar acciones inmediatas para erradicar, prevenir o minimizar su ingreso, fortaleciendo la gestión de residuos.

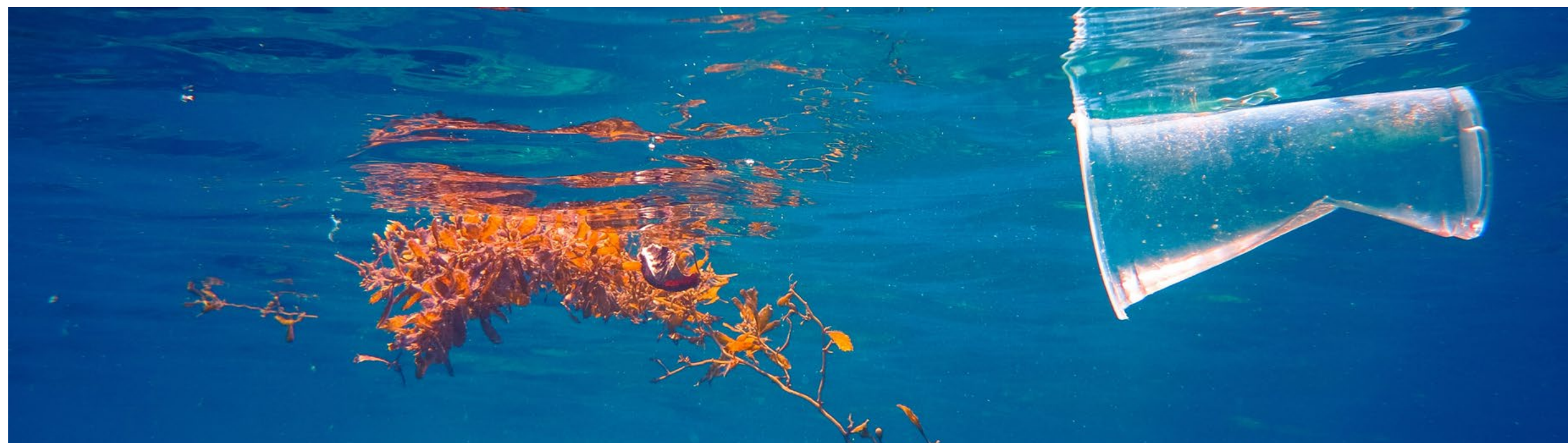
### Educación ambiental

- ➔ Promover, a través de las políticas públicas, la participación de la academia y las sociedades civiles para generar las posibles alternativas y soluciones, así como la vigilancia continua de los ambientes marinos.

- ➔ Promover eventos de limpieza de playa no como una solución, sino como forma de concientización.

### 6.2.RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS

**Bolsas de plástico:** en el caso de las bolsas de acarreo, desincentivar o restringir su uso, y promover alternativas reutilizables fabricadas de plástico y otros materiales, que cumplan con criterios de funcionalidad y bajo impacto ambiental. Establecer excepciones para usos específicos, como las cuestiones de higiene, el transporte de alimentos frescos y el almacenamiento de residuos. Promover la sustitución por compostables sólo en los casos en que se cuente con tasas elevadas de separación de residuos orgánicos y sistemas de composteo industrial.



**Botellas de plástico:** promover la incorporación gradual de material reciclado posconsumo, con el fin de disminuir la necesidad de extracción de materias primas. Fabricarlas a partir de materiales altamente reciclables en México, como el PET y el PEAD. Impulsar la producción de envases con características genéricas que faciliten su reciclaje, como el uso de colores claros, la producción de envases con un solo tipo de material, los diseños que faciliten el vaciado, la incorporación obligatoria del código de identificación del plástico y el uso de sistemas de etiquetado de bajo impacto. Incentivar los sistemas de retorno que permitan la reutilización de envases.

**Tapas de botellas:** promover la adopción gradual de sistemas de tapas unidas a la botella, que disminuyan sus pérdidas y permitan una incorporación más efectiva a los procesos de reciclaje. Promover mejoras en el diseño que disminuyan la masa de plástico utilizada en las tapas.

**Envolturas y empaques de plástico:** evaluar, para distintas aplicaciones, las ventajas y desventajas de los sistemas de empaque fabricados a partir de distintos materiales, incluyendo los multilaminados. Considerar los efectos en la preservación de los alimentos. Promover el ecodiseño, la disminución en el uso de empaque innecesarios y el empleo de sistemas reutilizables, a partir de esquemas de retorno o relleno de envases.

**Popotes:** limitar el uso de popotes desechables de plástico a situaciones en que se requieran por razones de higiene o de salud.

**Tazas, platos, vasos y cubiertos desechables:** sustituir por alternativas reutilizables, salvo en los casos en que se requieran para la atención de emergencias u otras situaciones específicas. Restringir el uso en ecosistemas que enfrentan condiciones críticas. Eliminar el uso de desechables en eventos y espacios cerrados en los que pueda establecerse de forma simple la recuperación de vajilla reutilizable.

**Arillos para bebidas:** analizar la viabilidad técnica, económica, ambiental y de uso de distintas alternativas tecnológicas. Restringir su uso en playas. Artículos de pesca: promover programas de capacitación en el sector pesquero sobre el manejo e impacto de los enseres de pesca en el medio marino. Desarrollar campañas de recuperación de redes fantasma.

**Globos:** restringir la liberación de globos y su utilización en espacios abiertos. Promover la sustitución a través de campañas de concientización.

Otros: aunque este informe no incluyó microplásticos, se recomienda eliminar el uso de microperlas en productos de cuidado personal, en forma similar a lo que se ha hecho en la Ciudad de México.





## REFERENCIAS

1. Beiras R, Beiras R. Plastics and Other Solid Wastes. *Mar Pollut.* enero de 2018;69–88.
2. United Nations Environmental Programme (UNEP). Microplastics [Internet]. Nairobi, Kenia; Disponible en: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/12079/brochure-microplastics.pdf?sequence=1&isAllowed=1>
3. Napper IE, Thompson RC. Plastic Debris in the Marine Environment: History and Future Challenges. *Glob Challenges* [Internet]. el 1 de junio de 2020 [citado el 5 de agosto de 2021];4(6):1900081. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/gch2.201900081>
4. Tang CC, Chen HI, Brimblecombe P, Lee CL. Morphology and chemical properties of polypropylene pellets degraded in simulated terrestrial and marine environments. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 2019;149(October):110626. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110626>
5. Anderson AG, Grose J, Pahl S, Thompson RC, Wyles KJ. Microplastics in personal care products: Exploring perceptions of environmentalists, beauticians and students. *Mar Pollut Bull.* 2016;113(1–2):454–60.
6. Jambeck JR, Geyer R, Wilcox C, Siegler TR, Perryman M, Andrady A, et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* (80- ) [Internet]. el 12 de febrero de 2015 [citado el 12 de febrero de 2015];347(6223):768–71. Disponible en: <http://www.sciencemag.org/content/347/6223/768.full>
7. Schettini E, Vox G, De Lucia B. Effects of the radiometric properties of innovative biodegradable mulching materials on snapdragon cultivation. *Sci Hortic (Amsterdam)* [Internet]. 2007;112(4):456–61. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423807000209>
8. Obbard RW. Microplastics in Polar Regions: The role of long range transport. *Current Opinion in Environmental Science and Health.* febrero de 2018;1:24–9.
9. Rist S, Baun A, Hartmann NB. Ingestion of micro- and nanoplastics in *Daphnia magna*

– Quantification of body burdens and assessment of feeding rates and reproduction. *Environ Pollut.* 2017;228.

**10.** Yu P, Liu Z, Wu D, Chen M, Lv W, Zhao Y. Accumulation of polystyrene microplastics in juvenile *Eriocheir sinensis* and oxidative stress effects in the liver. *Aquat Toxicol.* julio de 2018;200:28–36.

**11.** Jeong CB, Kang HM, Lee MC, Kim DH, Han J, Hwang DS, et al. Adverse effects of microplastics and oxidative stress-induced MAPK/Nrf2 pathway-mediated defense mechanisms in the marine copepod *Paracyclops* *nana*. *Sci Rep.* enero de 2017;7(1):1–11.

**12.** Bakir A, Rowland SJ, Thompson RC. Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull.* diciembre de 2012;64(12):2782–9.

**13.** Camacho M, Herrera A, Gómez M, Acosta-Dacal A, Martínez I, Henríquez-Hernández LA, et al. Organic pollutants in marine plastic debris from Canary Islands beaches. *Sci Total Environ.* abril de 2019;662:22–31.

**14.** Karapanagioti HK, Werner D. Sorption of Hydrophobic Organic Compounds to Plastics in the Marine Environment: Sorption and Desorption Kinetics. En: *Handbook of Environmental Chemistry.* Springer Verlag; 2019. p. 205–19.

**15.** GESAMP. “Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment” (Kershaw, P.J., ed.) (IMO/FAO/UNESCO- IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environment Protection). *Reports Stud GESAMP*, No 90, 96 p. 2015;96.

**16.** Ellen MacArthur Foundation. The new plastics economy - Rethinking the future of plastics. 2016. p. 120.

**17.** Amaral-Zettler L, Andrady A, Dudas S, Fabres J, Galgani F, Hardesty D, et al. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: Part 2 of a global assessment. *Reports Stud GESAMP.* 2016;93:217.

**18.** Morales-Caselles C, Viejo J, Martí E, González-Fernández D, Pragnell-Raasch H, González-Gordillo JI, et al. An inshore–offshore sorting system revealed from global classification of ocean litter. *Nat Sustain* [Internet]. 2021;4(6):484–93. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00720-8>

**19.** NOAA and UNEP. The Honolulu Strategy: A Global Framework for Prevention and Management of Marine Debris. A Rep Dev by United Nations Environ Program Natl Ocean Atmos Adm Mar Debris Progr Fifth Int Mar Debris Conf. 2011;1–50.

**20.** United Nations Environment Programme. Marine plastic debris & microplastics. Global lessons and research to inspire action and guide policy change. Nairobi, Kenia; 2016. p. 274.

**21.** Kowalski N, Reichardt AM, Waniek JJ. Sinking rates of microplastics and potential implications of their alteration by physical, biological, and chemical factors. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 2016;109(1):310–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.064>

**22.** SS S de S. NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposic. D Of la Fed. 2008;117.

**23.** Morgan Stanley. Marine debris tracker [Internet]. Data. 2021 [citado el 1 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://www.debristracker.org/data>

**24.** Ocean Conservancy. Cleanup Reports [Internet]. The International Coastal Cleanup. 2019 [citado el 29 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/international-coastal-cleanup/annual-data-release/>

**25.** Alvarez Zeferino JC, Sánchez Hernández S, Cruz Salas AA, Vázquez Morillas A, Ojeda Benítez S. Análisis de la presencia de residuos marinos en México desde 1989. En: *Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos - Gestión de residuos* [Internet]. 2020. p. 18–27. Disponible en: <http://www.somers-ac.org/paginas/encuentros/dectercero.php>

**26.** Cheshire A, Adler E, Barbière J, Cohen Y, Evans S, Jarayabhand S, et al. UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter. 2009.

**27.** Alvarez-Zeferino JC, Ojeda-Benitez S, Cruz-Salas AA, Vázquez-Morillas A. Basura marina: residuos en playas mexicanas. En: *4o Congreso de Ingeniería, Ciencia y Gestión Ambiental AMICA.* Ciudad de México, México; 2019. p. 9.

**28.** Cruz Salas AA. Evaluación de la calidad ambiental y su relación con la presencia de microplásticos en cinco playas mexicanas. Universidad Autónoma

Metropolitana; 2020.

29. ECOCE. Cifras y estadísticas. 2019.
30. Chowdhury H, Chowdhury T, Sait SM. Estimating marine plastic pollution from COVID-19 face masks in coastal regions. *Mar Pollut Bull.* el 1 de julio de 2021;168:112419.
31. Aragaw TA. Surgical face masks as a potential source for microplastic pollution in the COVID-19 scenario. *Mar Pollut Bull.* el 1 de octubre de 2020;159:111517.
32. Alvarez-Zeferino JC, Ojeda-Benítez S, Cruz-Salas AA, Martínez-Salvador C, Vázquez-Morillas A. Microplastics in Mexican beaches. *Resour Conserv Recycl.* 2020;155.
33. Coyle R, Hardiman G, Driscoll KO. Microplastics in the marine environment: A review of their sources, distribution processes, uptake and exchange in ecosystems. *Case Stud Chem Environ Eng.* septiembre de 2020;2:100010.
34. Mexpolímeros. Polar polymers. 2021.
35. Fu L, Li J, Wang G, Luan Y, Dai W. Adsorption behavior of organic pollutants on microplastics. *Ecotoxicol Environ Saf.* julio de 2021;217:112207.
36. An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *J Hazard Mater* [Internet]. el 15 de febrero de 2018 [citado el 31 de octubre de 2017];344:179–99. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438941730763X>
37. Polymerdatabase. Melting Points of polymers. 2021.
38. Khalid N, Aqeel M, Noman A, Hashem M, Mostafa YS, Alhathloul HAS, et al. Linking effects of microplastics to ecological impacts in marine environments. *Chemosphere.* febrero de 2021;264:128541.
39. Zeus Industrial Products. Dielectric Properties of Polymers. 2005.
40. IPEN. Plastic's toxic additives and the circular economy . 2020.
41. Rudnik E. Compostable Polymer Properties and Packaging Applications. En: Ebnesajjad S, editor. *Plastic Films in Food Packaging: Materials, Technology and Applications.* Elsevier Inc.; 2013. p. 217–48.
42. Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS. Microplastics as contami-

- nants in the marine environment: A review. *Mar Pollut Bull* [Internet]. diciembre de 2011 [citado el 10 de marzo de 2017];62(12):2588–97. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X11005133>
43. Troughton MJ. Polycarbonate. En: Troughton MJ, editor. *Handbook of Plastics Joining.* 2nd ed. Elsevier; 2009. p. 287–314.
44. Balaji AB, Pakalapati H, Khalid M, Walvekar R, Siddiqui H. Natural and synthetic biocompatible and biodegradable polymers. En: Navinchandra Gopal Shimpi, editor. *Biodegradable and Biocompatible Polymer Composites: Processing, Properties and Applications.* Elsevier; 2017. p. 3–32.
45. Komurlu E. High-density polyurethane rigid foam usability as liner support material in rock engineering. *Arab J Geosci.* junio de 2020;13(11):1–13.
46. Torres FG, Dioses-Salinas DC, Pizarro-Ortega CI, De-la-Torre GE. Sorption of chemical contaminants on degradable and non-degradable microplastics: Recent progress and research trends. *Sci Total Environ.* febrero de 2021;757:143875.
47. Elaplas. Acerca del poliuretano . 2020.
48. Polymerdatabase. Properties of Polyurethanes. 2021.
49. BASF - Badische Anilin Soda Fabrik. Additives for Polyamide. 2021.
50. Auta HS, Emenike C., Fauziah S. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environ Int* [Internet]. el 1 de mayo de 2017 [citado el 1 de mayo de 2019];102:165–76. Disponible en: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041201631011X?dgcid=raven\\_sd\\_recomender\\_email](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041201631011X?dgcid=raven_sd_recomender_email)
51. Lusher A. Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects. En: *Marine Anthropogenic Litter.* Cham: Springer International Publishing; 2015. p. 245–307.
52. Lagarde F, Olivier O, Zanella M, Daniel P, Hiard S, Caruso A. Microplastic interactions with freshwater microalgae: Hetero-aggregation and changes in plastic density appear strongly dependent on polymer type. *Environ Pollut.* agosto de 2016;215:331–9.
53. Amcor. What Are Polymer Additives? 2019.
54. Wang J, Tan Z, Peng J, Qiu Q, Li M. The behaviors of microplastics in

the marine environment. *Mar Environ Res* [Internet]. febrero de 2016 [citado el 10 de marzo de 2017];113:7–17. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141113615300659>

**55.** Guo X, Wang J. The chemical behaviors of microplastics in marine environment: A review. *Mar Pollut Bull* [Internet]. el 1 de mayo de 2019 [citado el 14 de junio de 2019];142:1–14. Disponible en: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X19302036?dgcid=raven\\_sd\\_recommender\\_email](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X19302036?dgcid=raven_sd_recommender_email)

**56.** Li J, Zhang K, Zhang H. Adsorption of antibiotics on microplastics. *Environ Pollut*. junio de 2018;237:460–7.

**57.** Hüffer T, Hofmann T. Sorption of non-polar organic compounds by micro-sized plastic particles in aqueous solution. *Environ Pollut*. 2016;214:194–201.

**58.** Min K, Cuiffi JD, Mathers RT. Ranking environmental degradation trends of plastic marine debris based on physical properties and molecular structure. *Nat Commun* 2020 111 [Internet]. el 5 de febrero de 2020 [citado el 22 de agosto de 2021];11(1):1–11. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41467-020-14538-z>

**59.** NA W, PR C. Degradation of common polymer ropes in a sublittoral marine environment. *Mar Pollut Bull* [Internet]. el 15 de mayo de 2017 [citado el 22 de agosto de 2021];118(1–2):248–53. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28267994/>

**60.** Shi Y, Liu P, Wu X, Shi H, Huang H, Wang H, et al. Insight into chain scission and release profiles from photodegradation of polycarbonate microplastics. *Water Res*. el 1 de mayo de 2021;195:116980.

**61.** ter Halle A, Ladirat L, Martignac M, Mingotaud AF, Boyron O, Perez E. To what extent are microplastics from the open ocean weathered? *Environ Pollut* [Internet]. 2017;227:167–

74. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.051>

**62.** Karlsson TM, Hassellöv M, Jakubowicz I. Influence of thermooxidative degradation on the in situ fate of polyethylene in temperate coastal waters. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 2018;135(May):187–94. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.015>

**63.** Flemming H-C, Wuertz S. Bacteria and archaea on Earth and their abundance in biofilms. *Nat Rev Microbiol* 2019 174 [Internet]. el 13 de febrero de 2019 [citado el 22 de agosto de 2021];17(4):247–60. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41579-019-0158-9>

**64.** Sudhakar M, Priyadarshini C, Doble M, Sriyutha Murthy P, Venkatesan R. Marine bacteria mediated degradation of nylon 66 and 6. *Int Biodeterior Biodegradation*. el 1 de enero de 2007;60(3):144–51.

**65.** Barnes DKA. Biodiversity: invasions by marine life on plastic debris. *Nature*. abril de 2002;416(6883):808–9.

**66.** Green DS, Boots B, Blockley DJ, Rocha C, Thompson R. Impacts of discarded plastic bags on marine assemblages and ecosystem functioning. *Environ Sci Technol*. 2015;49(9).

**67.** Yokota K, Waterfield H, Hastings C, Davidson E, Kwietniewski E, Wells B. Finding the missing piece of the aquatic plastic pollution puzzle: Interaction between primary producers and microplastics. *Limnol Oceanogr Lett* [Internet]. el 1 de agosto de 2017 [citado el 24 de agosto de 2021];2(4):91–104. Disponible en: <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/lol2.10040>

**68.** Gündoğdu S, Nur İ, Erbaş C. Potential interaction between plastic litter and green turtle *Chelonia mydas* during nesting in an extremely polluted beach. *Mar Pollut Bull*. 2019;140(November 2018):138–45.

**69.** Avio CG, Gorbi S, Regoli F. Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat. *Mar Environ Res* [Internet]. 2016 [citado el 12 de abril de 2017]; Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141113616300733>

**70.** S A, P K. Ecotoxicological effects of microplastics on biota: a review. *Environ Sci Pollut Res Int* [Internet]. el 1 de mayo de 2018 [citado el 24 de agosto de 2021];25(15):14373–96. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29680884/>

**71.** Frias JPGL, Otero V, Sobral P. Evidence of microplastics in samples of zooplankton from Portuguese coastal waters. *Mar Environ Res*. 2014;95:89–95.

**72.** Agamuthu P, Mehran SB, Norkhairah A, Norkhairiyah A. Marine debris: A review of impacts and global initiatives. *Waste Manag Res J Int Solid Wastes*

Public Clean Assoc ISWA. octubre de 2019;37(10):987–1002.

**73.** Wright SL, Thompson RC, Galloway TS. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*. 2013.

**74.** van Franeker JA, Law KL. Seabirds, gyres and global trends in plastic pollution. *Environ Pollut* [Internet]. abril de 2015;203:89–96. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749115001104>

**75.** Brennecke D, Duarte B, Paiva F, Caçador I, Canning-Clode J. Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuar Coast Shelf Sci*. enero de 2016;

**76.** Bradney L, Wijesekara H, Palansooriya KN, Obadamudalige N, Bolan NS, Ok YS, et al. Particulate plastics as a vector for toxic trace-element uptake by aquatic and terrestrial organisms and human health risk. *Environ Int* [Internet]. el 1 de octubre de 2019 [citado el

10 de julio de 2019];131:104937. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018329349>

**77.** Bejgarn S, MacLeod M, Bogdal C, Breitholtz M. Toxicity of leachate from weathering plastics: An exploratory screening study with *Nitocra spinipes*. *Chemosphere*. 2015;132.

**78.** Borrelle SB, Rochman CM, Liboiron M, Bond AL, Lusher A, Bradshaw H, et al. Opinion: Why we need an international agreement on marine plastic pollution. *Proc Natl Acad Sci U S A* [Internet]. el 19 de septiembre de 2017 [citado el 28 de septiembre de 2017];114(38):9994–7. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28928233>

**79.** Kirstein I V., Kirmizi S, Wichels A, Garin-Fernandez A, Erler R, Löder M, et al. Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. *Mar Environ Res*. 2016;120:1–8.

**80.** Zettler ER, Mincer TJ, Amaral-Zettler LA. Life in the “plastisphere”: microbial communities on plastic marine debris. *Environ Sci Technol* [Internet]. el 2 de julio de 2013 [citado el 18 de diciembre de 2013];47(13):7137–46. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/es401288x>

**81.** Koelmans AA, Mohamed Nor NH, Hermsen E, Kooi M, Mintenig SM, De France J. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Res*. el 15 de mayo de 2019;155:410–22.

**82.** Wyles KJ, Pahl S, Thomas K, Thompson RC. Factors That Can Undermine the Psychological Benefits of Coastal Environments: Exploring the Effect of Tidal State, Presence, and Type of Litter. <http://dx.doi.org/10.1177/0013916515592177> [Internet]. el 3 de julio de 2015 [citado el 26 de agosto de 2021];48(9):1095–126. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0013916515592177>

**83.** ILO ILO, WIEGO W in IEG and O. Cooperation among workers in the informal economy: A focus on home-based workers and waste pickers - A Joint ILO and WIEGO initiative [Internet]. Geneva, Switzerland; 2017. p. 81. Disponible en: [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/--ed\\_emp/---emp\\_ent/---coop/documents/publication/wcms\\_567507.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/--ed_emp/---emp_ent/---coop/documents/publication/wcms_567507.pdf)

**84.** Mouat J, Lopez Lozano R, Bateson H. Economic impacts of marine litter. 2010.

**85.** Webber DN, Parker SJ. Estimating unaccounted fishing mortality in the Ross Sea region and Amundsen Sea (CCAMLR subareas 88.1 and 88.2) bottom longline fisheries targeting Antarctic toothfish. *CCAMLR Sci*. 2012;19(2012):17–30.

**86.** Mathalon A, Hill P. Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Mar Pollut Bull* [Internet]. abril de 2014 [citado el 10 de marzo de 2017];81(1):69–79. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X14001143>

**87.** Munari C, Corbau C, Simeoni U, Mistri M. Marine litter on Mediterranean shores: Analysis of composition, spatial distribution and sources in north-western Adriatic beaches. *Waste Manag* [Internet]. diciembre de 2015 [citado el 30 de diciembre de 2015]; Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15302440>

**88.** Pasternak G, Zviely D, Ribic C, Ariel A, Spanier E. Sources, composition and spatial distribution of marine debris along the Mediterranean coast of Israel. *Mar Pollut Bull*. el 30 de enero de 2017;114(2):1036–45.

**89.** Campbell ML, Peters L, McMains C, de Campos MCR, Sargisson R, Blackwell B, et al. Are our beaches safe? Quantifying the human health impact of anthropogenic beach litter on people in New Zealand. *Sci Total Environ*. el 15 de febrero de 2019;651:2400–9.

- 90.** Newman S, Watkins E, Farmer A, Brink P ten, Schweitzer J-P. The Economics of Marine Litter. *Mar Anthropol Litter* [Internet]. el 1 de enero de 2015 [citado el 26 de agosto de 2021];367-94. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16510-3\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16510-3_14)
- 91.** de Campos MI, Marin Rueda FJ, de Campos MI, Marin Rueda FJ. Sesgo de discapacidad social en medidas de valores organizacionales. *Univ Psychol* [Internet]. 2017 [citado el 21 de agosto de 2021];16(2):206-16. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1657-92672017000200206&lng=en&nr-m=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-92672017000200206&lng=en&nr-m=iso&tlng=es)
- 92.** INEGI IN de E y G. Cerca de la mitad de los hogares realizan algún tipo de separación o clasificación de la basura: módulo de hogares y medio ambiente [Internet]. Aguascalientes, México; 2018. p. 15. Disponible en: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/GrafiaMdoAmte/MOHO MA2018\\_06.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/GrafiaMdoAmte/MOHO MA2018_06.pdf)
- 93.** SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. 2020. p. 274.
- 94.** SEMARNAT. Criterios para la ubicación, operación y cierre de infraestructura ambiental para el acopio, transferencia, separación y tratamiento de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. 2010;(012):1-168.
- 95.** INEGI. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2017 Presentación de resultados generales. 2017.
- 96.** SEMARNAT. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los residuos. Medio Ambiente. 2020;68-70.
- 97.** Ecolana [Internet]. Mexico. Disponible en: [ecolana.com.mx](http://ecolana.com.mx)
- 98.** Municipios | Gobierno de Baja California Sur 2015 - 2021 | Mejor Futuro.
- 99.** ANIPAC, Asociación Nacional de la Industria del Plástico AC. Estudio cuantitativo de la industria del reciclaje de plásticos en México. Ciudad de México, México; 2021. p. 42.
- 100.** Carlucci A. Desarrollo sostenible y sostenible y rentabilidad.
- 101.** Precio de chatarra, empresa de compra venta de chatarra en México.
- 102.** Reciclaje de metal.
- 103.** Ruiz B. ¿Papel o plástico? - Revista ¿Cómo ves? - Dirección General de

Divulgación de la Ciencia de la UNAM. 2019.

- 104.** PetStar. Informe de Sustentabilidad 2019. 2019..
- 105.** Treviño Aguado J. Plan de Manejo ECOCE. *Ecol y Compromiso Empres.* 2019;60.
- 106.** Ellen MacArthur Foundation. The new plastics economy. Catalysing action. United Kingdom; 2017. p. 68.
- 107.** UNEP UNEP. Legal Limits on Single-Use Plastics and Microplastics [Internet]. Nairobi, Kenia; 2018. Disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27113/plastics\\_limits.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27113/plastics_limits.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- 108.** UNEP. Addressing single-use plastic products pollution using a life cycle approach. Nairobi, Kenia; 2021. p. 48.
- 109.** UNEP, Initiative LC, Nature IU for C of. National guidance for plastic pollution hotspotting and shaping action. París, Francia; 2020. p. 48.
- 110.** GESAMP - Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. Kershaw P, editor. Reports and Studies GESAMP, No. 90; 2015.
- 111.** Ramírez Ortiz J de J. Efectividad de medidas antiplásticos en México. Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco; 2021.
- 112.** Vázquez A, Espinosa RM, Beltrán M, Velasco M. Bioplásticos y plásticos degradables. *Univ Auton Metrop.* 2015;11.
- 113.** Trust PC, SYSTEMIQ. Breaking the plastic wave [Internet]. 2020. p. 78. Disponible en: [https://www.bing.com/search?q=breaking+the+plastic+wave&cvd=e3bdaeef56a2427086\\_09012999439881&aqs=edge.0.0l2j69i60.7536j0j1&pglt=299&FORM=ANNTA1&PC=U531](https://www.bing.com/search?q=breaking+the+plastic+wave&cvd=e3bdaeef56a2427086_09012999439881&aqs=edge.0.0l2j69i60.7536j0j1&pglt=299&FORM=ANNTA1&PC=U531)
- 114.** Boehm AB, Ismail NS, Sassoubre LM, Andruszkiewicz EA. Oceans in Peril: Grand Challenges in Applied Water Quality Research for the 21st Century. *Environ Eng Sci* [Internet]. el 18 de diciembre de 2015 [citado el 30 de diciembre de 2015];ees.2015.0252. Disponible en: <http://online.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/ees.2015.0252>
- 115.** Ahamed A, Vallam P, Iyer NS, Veksha A, Bobacka J, Lisak G. Life cycle assessment of plastic grocery bags and their alternatives in cities with con-



fined waste management structure: A Singapore case study. *J Clean Prod.* 2021;278:123956.

**116.** Civancik-Uslu D, Puig R, Hauschild M, Fullana-i-Palmer P. Life cycle assessment of carrier bags and development of a littering indicator. *Sci Total Environ* [Internet]. el 1 de octubre de 2019 [citado el 20 de junio de 2019];685:621–30. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719324258>

**117.** Saibuatrong W, Cheroennet N, Suwanmanee U. Life cycle assessment focusing on the waste management of conventional and bio-based garbage bags. *J Clean Prod.* 2017;158:319–34.

**118.** Khoo HH, Tan RBH. Environmental impacts of conventional plastic and bio-based carrier bags. *Int J Life Cycle Assess* [Internet]. el 23 de febrero de 2010 [citado el 5 de octubre de 2014];15(4):338–45. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-010-0163-8>

**119.** Queiroz GDC, Garcia EEC. Reciclagem de sacolas plásticas de polietileno em termos de inventário de ciclo de vida Recycling of polyethylene plastic bags in terms of life cycle inventory. *Polímeros.* 2010;20(5):401–6.

**120.** UNEP. Single-use plastic bags and their alternatives. Recommendations from Life Cycle Assessments [Internet]. Nairobi, Kenia; 2020. p. 76. Disponible en: <https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2020/04/Single-use-plastic-bags-and-alternatives-Recommendations-from-LCA-final.pdf>

**121.** Rodríguez LJ, Ospina S, Ribeiro I, Peças P, Orrego CE. Banana fibre-bio-composite applied to bottle lid case - life-cycle engineering model for material selection. *Int J Sustain Eng.* 2021;00(00):1–12.

**122.** Agarski B, Vukelic D, Micunovic MI, Budak I. Evaluation of the environmental impact of plastic cap production, packaging, and disposal. *J Environ Manage.* 2019;245(September 2018):55–65.

**123.** Husky. ¿Está listo para la ligadura? Guía de tapas y tapones unidos a las botellas. Hamilton, Canadá; 2020. p. 9.

**124.** LATAM.COM FN. Nuevas tapas atadas a botellas no retornables [Internet]. 2021 [citado el 15 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://www.foodnewlatam.com/paises/4964-euro->

[pa/11000-nuevas-tapas-atadas-a-botellas-de-pet-no-retornables.html](https://www.foodnewlatam.com/paises/4964-euro-pa/11000-nuevas-tapas-atadas-a-botellas-de-pet-no-retornables.html)

**125.** UNEP. Single-use plastic take-away food packaging and its alternatives. Nairobi, Kenia; 2020. p. 44.

**126.** Chang L, Tan J. An integrated sustainability assessment of drinking straws. *J Environ Chem Eng.* 2021;9(4):105527.

**127.** Zanghelini GM, Cherubini E, Dias R, Kabe YHO, Delgado JJS. Comparative life cycle assessment of drinking straws in Brazil. *J Clean Prod.* 2020;276:123070.

**128.** UNEP UNEP. Single-use plastic tableware and its alternatives - Recommendations from Life Cycle Assessments. Nairobi, Kenia; 2020. p. 40.

**129.** Vercalsteren A, Spirinckx C, Geerken T. Life cycle assessment and eco-efficiency analysis of drinking cups used at public events. *Int J Life Cycle Assess.* 2010;15(2):221–30.

**130.** Korbelyiova L, Malefors C, Lalander C, Wikström F, Eriksson M. Paper vs leaf: Carbon footprint of single-use plates made from renewable materials. *Sustain Prod Consum.* 2021;25:77–90.

**131.** Fieschi M, Pretato U. Role of compostable tableware in food service and waste management. A life cycle assessment study. *Waste Manag* [Internet]. diciembre de 2017 [citado el 15 de diciembre de 2017]; Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X17308760>

**132.** Herberz T, Barlow CY, Finkbeiner M. Sustainability assessment of a single-use plastics ban. *Sustain.* 2020;12(9).

**133.** Razza F, Fieschi M, Innocenti FD, Bastioli C. Compostable cutlery and waste management: An LCA approach. *Waste Manag.* 2009;29(4):1424–33.

**134.** UNEP. Single-use plastic beverage cups and their alternatives: recommendations from Life Cycle Assessments. 2020. p. 54.

**135.** Changwichan K, Gheewala SH. Choice of materials for takeaway beverage cups towards a circular economy. *Sustain Prod Consum.* 2020;22:34–44.

**136.** Cottafava D, Costamagna M, Baricco M, Corazza L, Miceli D, Riccardo LE. Assessment of the environmental break-even point for deposit return systems through an LCA analysis of single-use and reusable cups. *Sustain Prod Consum.* 2021;27:228–41.

**137.** Foteinis S. How small daily choices play a huge role in climate change: The

- disposable paper cup environmental bane. *J Clean Prod.* 2020;255:120294.
- 138.** Gautam A, Mata TM, Martins AA, Caetano NS. Evaluation of Areca palm renewable options to replace disposable plastic containers using life cycle assessment methodology. *Energy Reports.* 2020;6:80–6.
- 139.** Van der Harst E, Potting J. Variation in LCA results for disposable polystyrene beverage cups due to multiple data sets and modelling choices. *Environ Model Softw.* 2014;51:123–35.
- 140.** van der Harst E, Potting J, Kroeze C. Multiple data sets and modelling choices in a comparative LCA of disposable beverage cups. *Sci Total Environ.* 2014;494–495:129–43.
- 141.** Moretti C, Hamelin L, Jakobsen LG, Junginger MH, Steingrimsdottir MM, Hoibye L, et al. Cradle-to-grave life cycle assessment of single-use cups made from PLA, PP and PET. *Resour Conserv Recycl.* junio de 2021;169:105508.
- 142.** Amienyo D, Gujba H, Stichnothe H, Azapagic A. Life cycle environmental impacts of carbonated soft drinks. *Int J Life Cycle Assess.* 2013;18(1):77–92.
- 143.** Chen L, Pelton REO, Smith TM. Comparative life cycle assessment of fossil and bio- based polyethylene terephthalate (PET) bottles. *J Clean Prod.* 2016;137:667–76.
- 144.** Horowitz N, Frago J, Mu D. Life cycle assessment of bottled water: A case study of Green2O products. *Waste Manag.* 2018;76:734–43.
- 145.** Kim S, Park J. Comparative life cycle assessment of multiple liquid laundry detergent packaging formats. *Sustain.* 2020;12(11).
- 146.** Nessi S, Rigamonti L, Grosso M. LCA of waste prevention activities: A case study for drinking water in Italy. *J Environ Manage.* 2012;108:73–83.
- 147.** Saleh Y. Comparative life cycle assessment of beverages packages in Palestine. *J Clean Prod.* 2016;131:28–42.
- 148.** Simon B, Amor M Ben, Földényi R. Life cycle impact assessment of beverage packaging systems: Focus on the collection of post-consumer bottles. *J Clean Prod.* 2016;112:238–48.
- 149.** Stefanini R, Borghesi G, Ronzano A, Vignali G. Plastic or glass: a new environmental assessment with a marine litter indicator for the comparison of pasteurized milk bottles. *Int J Life Cycle Assess.* 2021;26(4):767–84.
- 150.** Tamburini E, Costa S, Summa D, Battistella L, Fano EA, Castaldelli G.

- Plastic (PET) vs bioplastic (PLA) or refillable aluminium bottles – What is the most sustainable choice for drinking water? A life-cycle (LCA) analysis. *Environ Res.* 2021;196(October 2020):110974.
- 151.** UNEP UNEP. Single-use plastic bottles and their alternatives - Recommendations from Life Cycle Assessments. Nairobi, Kenia; 2020. p. 44.
- 152.** Okada T, Shibata M, Sakata Y, AtsushiNakajima, Itsubo N. Life cycle assessment (LCA) of the innovative eco-designed container for shampoo. *Clean Responsible Consum.* 2021;3(June):100027.
- 153.** Brock A, Williams I. Life cycle assessment of beverage packaging. *De-tritus.* 2020;13:47–61.
- 154.** Meneses M, Pasqualino J, Castells F. Environmental assessment of the milk life cycle: The effect of packaging selection and the variability of milk production data. *J Environ Manage.* 2012;107:76–83.
- 155.** Singh J, Krasowski A, Singh SP. Life Cycle Inventory of HDPE Bottle-Based Liquid Milk Packaging Systems. *Packag Technol Sci.* 2011;24(January):49–60.
- 156.** Treenate P, Limphitakphong N, Chavalparit O. A complete life cycle assessment of high density polyethylene plastic bottle. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.* 2017;222(1):0–6.
- 157.** Gibbens S. Are plastic six-pack rings still ensnaring wildlife? National Geographic, [Internet]. 2018; Disponible en: <https://www.national-geographic.com/environment/article/news-plastic-six-pack-rings-alternatives-history>
- 158.** Hibbard PC. Balloons' effect on the environment. *The New York Times* [Internet]. 1990; Disponible en: <https://www.nytimes.com/1990/04/01/nyregion/l-balloons-effect-on-the-environment-867890.html>
- 159.** Khoo HH, Tan RBH, Chng KWL. Environmental impacts of conventional plastic and bio-Based carrier bags. *Int J Life Cycle Assess.* 2010;15(3):284–93.
- 160.** Muthu SS, Li Y. Life Cycle Assessment of Grocery Shopping Bags. 2014. 15–54 p.
- 161.** Ruangrit C, Usapein P, Limphitakphong N, Chavalparit O. Evaluation of the environmental impact of portion bag for food packaging: A case study

of Thailand. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2017;67(1).

**162.** Mattila T, Kujanpää M, Dahlbo H, Soukka R, Myllymaa T. Uncertainty and Sensitivity in the Carbon Footprint of Shopping Bags. *J Ind Ecol* [Internet]. el 1 de abril de 2011 [citado el 11 de abril de 2019];15(2):217–27. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1530-9290.2010.00326.x>

**163.** Accorsi R, Versari L, Manzini R. Glass vs. plastic: Life cycle assessment of extra-virgin olive oil bottles across global supply chains. *Sustain.* 2015;7(3):2818–40.

**164.** Bałazińska M, Kruczek M, Bondaruk J. The environmental impact of various forms of waste PET bottle management. *Int J Sustain Dev World Ecol.* 2020;28(5):473–80.

**165.** Nakatani J, Fujii M, Moriguchi Y, Hirao M. Life-cycle assessment of domestic and transboundary recycling of post-consumer PET bottles. *Int J Life Cycle Assess.* 2010;15(6):590–7.

**166.** Papong S, Malakul P, Trungkavashirakun R, Wenunun P, Chom-In T, Nithitanakul M, et al. Comparative assessment of the environmental profile of PLA and PET drinking water bottles from a life cycle perspective. *J Clean Prod.* 2014;65:539–50.

**167.** Park JY, Gupta C. Evaluating localism in the management of post-consumer plastic bottles in Honolulu, Hawai'i: Perspectives from industrial ecology and political ecology. *J Environ Manage.* 2015;154:299–306.

**168.** Shen L, Worrell E, Patel MK. Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling. *Resour Conserv Recycl.* 2010;55(1):34–52.

**169.** Chilton T, Burnley S, Nesaratnam S. A life cycle assessment of the closed-loop recycling and thermal recovery of post-consumer PET. *Resour Conserv Recycl.* 2010;54(12):1241–9.

**170.** Ferrara C, De Feo G. Comparative life cycle assessment of alternative systems for wine packaging in Italy. *J Clean Prod.* 2020;259:120888.

**171.** Foolmaun RK, Ramjeeawon T. Comparative life cycle assessment and social life cycle assessment of used polyethylene terephthalate (PET) bottles in Mauritius. *Int J Life Cycle Assess.* 2013;18(1):155–71.

**172.** Kang DH, Auras R, Singh J. Life cycle assessment of non-alcoholic single-serve polyethylene terephthalate beverage bottles in the state of Califor-

nia. *Resour Conserv Recycl.* 2017;116:45–52.

**173.** Komly CE, Azzaro-Pantel C, Hubert A, Pibouleau L, Archambault V. Multiobjective waste management optimization strategy coupling life cycle assessment and genetic algorithms: Application to PET bottles. *Resour Conserv Recycl.* 2012;69:66–81.

**174.** Kouloumpis V, Pell RS, Correa-Cano ME, Yan X. Potential trade-offs between eliminating plastics and mitigating climate change: An LCA perspective on Polyethylene Terephthalate (PET) bottles in Cornwall. *Sci Total Environ.* 2020;727:138681.

**175.** Kuczynski B, Geyer R. PET bottle reverse logistics - Environmental performance of California's CRV program. *Int J Life Cycle Assess.* 2013;18(2):456–71.

**176.** Martin EJP, Oliveira DSBL, Oliveira LSBL, Bezerra BS. Life cycle comparative assessment of pet bottle waste management options: A case study for the city of Bauru, Brazil. *Waste Manag.* 2021;119:226–34.

**177.** Foolmaun RK, Ramjeeawon T. Disposal of post-consumer polyethylene terephthalate (PET) bottles: Comparison of five disposal alternatives in the small island state of Mauritius using a life cycle assessment tool. *Environ Technol.* 2012;33(5):563–72.

**178.** Büsser S, Jungbluth N. The role of flexible packaging in the life cycle of coffee and butter. *Int J Life Cycle Assess.* 2009;14(SUPPL. 1):80–91.



## ANEXO 1.

# CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS ENCONTRADOS EN PLAYAS NACIONALES

Tabla 13. Clasificación de residuos plásticos encontrados en playas nacionales

CÓDIGO DEL RESIDUO	FORMA DEL RESIDUO Y EJEMPLOS
PL01	Tapas de botellas o recipientes
PL02	Botellas <2 litros
PL03	Botellas, garrafones, recipientes >2 litros
PL04	Cuchillos, tenedores, cucharas, agitadores, palitos de paleta y popotes
PL05	Arillos y portadores de bebidas (six pack)
PL06	Contenedores de comida (comida rápida, tazas, vasos, platos similares)
PL07	Bolsas de plástico (opacas o transparentes)
PL08	Juguetes y artículos de fiesta
PL09	Guantes
PL10	Encendedores
PL11	Cigarros, colillas y filtros
PL12	Jeringas
PL13	Cestas, cajas y bandejas
PL14	Boyas de plástico
PL15	Mallas (vegetales, ostras o mejillones). Costales de rafia
PL16	Lonas, bolsas de plástico tejidas y playo
PL17	Artículos de pesca (señuelos, trampas y redes pasivas)
PL18	Línea de monofilamento
PL19	Cuerda
PL20	Red de pescar
PL21	Fleje
PL22	Fragmentos de fibra de vidrio
PL23	Gránulos de resinas (pellets)
PL24	Otros (especificar)

# ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE RESIDUOS PLÁSTICOS

## 6.3. BOLSAS DE PLÁSTICO

La Tabla 14 muestra los estudios llevados a cabo para las bolsas de plástico. Un aspecto importante a tomar en cuenta en estos análisis es la definición de la unidad funcional (UF), lo que permite comparar de manera adecuada los distintos análisis. Esta UF se encuentra generalmente en una bolsa y los sistemas se adecuan a una bolsa estándar del material de interés (117,118,159-161). También se ha propuesto el análisis del consumo de bolsas promedio por habitante en un año en la localidad (115,116), además de considerar masas de 100 kg de plástico de bolsas (119,162). La mayor parte de los trabajos analizan desde la extracción de materias primas, la producción, transporte y distribución a los consumidores, además del uso y la disposición final (reciclaje, incineración con y sin recuperación de energía, relleno sanitario y algunos casos de composteo para los bioplásticos). Dos de los ACV tomaron la extracción de materias primas, producción y transporte hasta donde las utilizará el consumidor (159,160). Entre los principales impactos analizados se encuentra el calentamiento global, agotamiento de recursos abióticos, potencial de acidificación, potencial de eutrofización, potencial de formación de ozono fotoquímico. Para aquellos estudios donde se comparan bioplásticos como alternativa a materiales de origen fósil se toma en cuenta también el uso de tierra y la ecotoxicidad (115).

Tabla 14. Estudios de análisis de ciclo de vida de bolsas de plástico

REFERENCIA	PAÍS O REGIÓN	MATERIALES ANALIZADOS	MÉTODO DE EVALUACIÓN	ESCENARIO DE DISPOSICIÓN FINAL
(160)	China	PEAD, PEBD, papel Kraft, algodón tejido, PP no tejido	Fueron calculados manualmente y después comparados con el Software SimaPro, no indica el método utilizado.	No se evaluó la disposición, únicamente de la cuna a la puerta del consumidor
(119)	Brasil	Tipo A: 80% de PEAD- APM (alto peso molecular) y 20% de PEAD/ PELBD (polietileno de baja densidad lineal). Tipo B: (15% PEBD, 68% PEAD-APM, 13% de PEAD/PELBD y 4% de PEAD importado)	Software PEMS. Nueve categorías de impacto se consideraron relevantes para la situación brasileña: consumo de recursos naturales; cambio climático (efecto invernadero); acidificación; eutrofización; formación de humo fotoquímico; toxicidad humana; ecotoxicidad; utilización del volumen del vertedero y uso de la tierra.	Reciclaje, relleno sanitario
(161)	Tailandia	Bolsa para porciones con cierre (tipo Ziploc)	IMPACT 2002+	Relleno sanitario
(117)	Tailandia	PE convencional, polietileno de biomasa procedente de melaza (Bio-PE), mezcla de butileno con adipato de co-tereftalato con almidón (PBAT/ almidón)	Eco-Indicador 99	Composteo, incineración y relleno sanitario



#### 6.4. BOTELLAS DE PLÁSTICO

El ACV de botella de PET se centra en dos ramas principales: 1) búsqueda de escenarios posconsumo entre los que destacan, la incineración, el reciclaje y el relleno sanitario (163-176), y 2) uso alternativo de materiales que sustituyan al PET como el aluminio, el PET reciclado (R-PET), el cartón multilaminado, vidrio y biopolímeros, entre otros, pero que tengan la misma funcionalidad (142-150). La mayoría de los trabajos se han centrado en el estudio del potencial de calentamiento global, sin embargo también se han tomado en cuenta categorías de impacto sobre el agotamiento de la capa de ozono, toxicidad humana, creación de oxidantes fotoquímicos y potencial de acidificación. Algunos menos utilizados también son el agotamiento de recursos abióticos y la toxicidad acuática. Cuando se compara el PET de origen fósil con el PET de origen renovable también suele usarse al uso de suelo como categoría de evaluación. En la Tabla 15 se pueden visualizar los artículos orientados a la evaluación de escenarios de posconsumo de las botellas de PET, algunos trabajos también comparan los mismos escenarios de disposición final de otros materiales, en algunos se evalúa solamente para la botella de PET en distintos escenarios de gestión de los residuos. La mayoría de los trabajos se han centrado en el análisis de uso de energía o el potencial de calentamiento global. La mayoría de los estudios sólo analizan la eliminación, el reciclaje y la incineración en vertederos (con o sin generación de energía). En general, el reciclaje mecánico ha mostrado el mejor desempeño ambiental.

**Tabla 15.** Evaluación del ciclo de vida de botellas de PET posconsumo con enfoque en la disposición final

REFERENCIA	PAÍS O REGIÓN	MATERIALES ANALIZADOS	MÉTODO DE EVALUACIÓN	ESCENARIO DE DISPOSICIÓN FINAL
(163)	Italia	PET, PET reciclado (PET- R), vidrio	Método de Diseño Ambiental de Productos (EDIP) 2003	Reciclaje, incineración, relleno sanitario
(164)	Polonia	PET	ReCiPe Midpoint 2016 y ReCiPe Endpoint 2016	Reciclaje, incineración con recuperación de energía y relleno sanitario
(169)	Inglaterra	PET	Eco-Indicador 99	Reciclaje y recuperación térmica
(170)	Italia	PET, vidrio desechable y retornable, Tetrapak, bolsa en cartón	ReCiPe Midpoint 2016 y ReCiPe Endpoint 2016	Reciclaje, incineración y relleno sanitario
(177)	República de Mauricio	PET	Eco-Indicador 99	Incineración con generación de energía, relleno sanitario, producción de escamas de PET
(171)	República de Mauricio	PET	Eco-Indicador 99	Incineración con generación de energía, relleno sanitario, producción de escamas en diferentes combinaciones entre ellos
(172)	Estados Unidos	PET	TRACI v.2	Reciclaje, incineración y relleno sanitario, además se incluye el tipo de recolección
(173)	Francia	PET	CML 2001	Reciclaje mecánico, químico o térmico, incineración y relleno sanitario

**Tabla 15.** Evaluación del ciclo de vida de botellas de PET posconsumo con enfoque en la disposición final.  
Continuación

REFERENCIA	PAÍS O REGIÓN	MATERIALES ANALIZADOS	MÉTODO DE EVALUACIÓN	ESCENARIO DE DISPOSICIÓN FINAL
(174)	Reino Unido	PET, vidrio	CML 2001	Reciclaje, incineración
(175)	Estados Unidos	PET	CML y TRACI v. 2	Reciclaje, relleno además de analizar el tipo de recolección
(176)	Brasil	PET	ReCiPe Midpoint	Reciclaje, incineración, relleno, clasificación, diferentes combinaciones (9 escenarios)
(165)	Japón y china	PET	IPCC	Reciclaje: doméstico y transfronterizo, incineración y relleno
(166)	Tailandia	Bioplástico PLA, PET	CML 2000	Reciclaje, incineración, relleno sanitario
(167)	Estados Unidos	PET	TRACI v.2 y ReCiPe Midpoint	Reciclaje transcontinental, incineración
(168)	Europa Occidental y Taiwán	PET	CML 2001	Reciclaje: mecánico, semi- mecánico, vuelta a oligómero y vuelta a monómero

La Tabla 16 muestra los estudios que han comparado al PET con otros materiales alternativos como lo son: el vidrio, aluminio, cartón laminado y los biopolímeros como el PLA, además algunos también toman en cuenta el uso del PET reciclado (R-PET).

**Tabla 16.** Evaluación de ciclo de vida de materiales alternativos al PET

REFERENCIA	PAÍS O REGIÓN	MÉTODO DE EVALUACIÓN	MATERIALES ANALIZADOS
(143)	Estados Unidos	ReCiPe	PET, PET biológico
(144)	Estados Unidos	Impact 2002+	PET, PET reciclado, PLA (base maíz), PET con aditivo
(145)	Canadá	TRACI v. 2.1	PET, PEAD (polietileno de alta densidad)
(147)	Palestina	Impact 2002+	PET, aluminio, vidrio
(148)	Hungría	CML-IA 2010	PET, aluminio, vidrio, PLA, cartón multicapa Tetrapack
(149)	Italia	ReCiPe (MidPoint)	PET, PET reciclado, vidrio retornable, vidrio retornable
(150)	Estados Unidos	ReCiPe (MidPoint)	PET, PLA, aluminio
(142)	Inglaterra	CML 2001	PET, aluminio, vidrio
(146)	Italia	IPCC	PET, vidrio, combinación de PET, policarbonato y PLA

En la literatura se encontraron dos trabajos que evaluaron el ACV de las botellas de PEAD utilizadas para champú o detergente líquido (145,152). Se analizaron botellas de PEAD y PET cápsulas y bolsas con cápsulas para el contenido de detergente líquido en Canadá, así como un diseño novedoso que pretende sustituir el empaque tradicional en Japón. La Tabla 17 muestra los estudios de ACV en botellas de PEAD para detergente o champú. Las unidades funcionales de cada estudio variaron considerablemente, mientras que Kim y Park (145) tomaron 10,000 cargas de detergente, Okada y colaboradores (152) utilizaron 6 mL de champú, que es el promedio de un solo uso según la encuesta de consumidores en Japón.



**Tabla 17.** Estudios de ACV de botellas de PEAD para detergente o champú

REFERENCIA	PAÍS O REGIÓN	MATERIALES ANALIZADOS	MÉTODO DE EVALUACIÓN	ESCENARIO DE DISPOSICIÓN FINAL
(145)	Canadá	Botellas de polietileno de alta densidad (HDPE), botellas de PET con cápsulas, bolsa con cápsulas	TRACI 2.1	Reciclaje, incineración, relleno sanitario
(152)	Japón	Botella tradicional con bomba, paquetes de película flexible, diseño innovador	LIME2	Reciclaje, incineración

Otros ACV de botellas de PEAD se llevaron a cabo para la leche. Se evaluaron diferentes materiales (153), distintos tamaños (154) y diseños (155). En la Tabla 18 se pueden apreciar las principales características de estos estudios. En todos los casos la unidad funcional se estableció con base en el contenido de leche en los diferentes materiales y volúmenes utilizados.



**Tabla 18.** ACV de botellas de PEAD para contener leche

REFERENCIA	PAÍS O REGIÓN	MATERIALES ANALIZADOS	MÉTODO DE EVALUACIÓN	ESCENARIO DE DISPOSICIÓN FINAL
(153)	Reino Unido	PEAD, PET, aluminio, Tetrapack	CML	Reciclaje
(154)	España	Tetrapack (0.2, 0.5, 1, 1.5 L), PEAD (1, 1.5), PET 1 L	Calentamiento global y acidificación	Reciclaje, incineración, relleno sanitario
(155)	Estados Unidos	PEAD 3.791 L en diferentes formas	SavvyPack® 2.0 y CAPE PACK v2.04	Reciclaje, incineración, relleno sanitario

### 6.5. TAPAS DE BOTELLAS Y ENVASES

En la Tabla 19 se muestra el ACV de las tapas donde se analizaron diferentes materiales. La unidad funcional corresponde a una tapa de 53 mm de diámetro y 13.44 g. El límite del estudio se centró en la fabricación y disposición final (relleno sanitario). El sistema contiene la recolección poscosecha de materia prima banano, transporte, producción de fibra de banano (BF), preparación de BF, producción de pellets (BF, PLA, PEAD y mezclas), fabricación de tapas/prototipos y disposición final.

**Tabla 19.** Estudios de ACV para tapas de botellas con enfoque en el cambio de material

REFERENCIA	PAÍS O REGIÓN	MATERIALES ANALIZADOS	MÉTODO DE EVALUACIÓN
(121)	Colombia	Se evaluaron dos materiales actuales con polietileno de alta densidad (PEAD) y ácido poliláctico (PLA) y 10 materiales biocompuestos alternativos de matriz híbrida (mezclas de PEAD y PLA) y contenidos de fibra de banano (BF).	ReCiPe EndPoint 2016

Por otra parte, un análisis de ACV para diferentes tipos de materiales se llevó a cabo orientado al rediseño de las tapas. La unidad funcional es un tapón de plástico PEAD que se ha producido mediante moldeo por inyección, embalado en una caja de cartón corrugado y listo para su distribución. Las diferencias entre los diseños de la tapa fueron la altura del anillo

de seguridad y el radio del borde en la parte superior. Ambos tapones tienen la misma morfología y propiedades funcionales, y no hay diferencia en el rendimiento.

### 6.6. POPOTES

Los ACV de popotes establecieron la UF de un popote, aunque se toma en cuenta que ese popote tiene la funcionalidad de “beber 300 mL de un líquido genérico de un vaso normal”. Uno de los análisis tomó en cuenta la tasa de reutilización, las condiciones de lavado, el uso de kits auxiliares y las estrategias de fin de vida útil, mientras que el otro incluyó la extracción de materia prima y el proceso de fabricación (126,127). La Tabla 20 muestra las principales características de los estudios sobre ACV de popotes.

**Tabla 20.** Evaluación de ciclo de vida de popotes

REFERENCIA	PAÍS O REGIÓN	MATERIALES ANALIZADOS	MÉTODO DE EVALUACIÓN
(127)	Brasil	Se adaptó un método híbrido basado en ReCiPe 2008 en el nivel medio, CML-IA, IPCC, demanda de energía acumulada de ACV Brasil e IFEU con la adición de las categorías de toxicidad USEtox.	Plástico, acero inoxidable, vidrio, papel, bambú y yute
(126)	Malasia	Las categorías de impacto incluyen: agotamiento de los recursos abióticos (ARB), potencial de calentamiento global (PCG), acidificación (PA), eutrofización (PE) y toxicidad humana (PTH).	Plástico, acero inoxidable

### 6.7. PLATOS, VASOS Y TAZAS DESECHABLES

La Tabla 21 muestra los estudios enfocados en el ACV de vasos. Se encontró que los trabajos tenían diversos enfoques u objetivos, entre ellos encontrar el mejor material o sistema de disposición (129,135–141) Todos los estudios examinaron al menos un sistema de vasos que abarque desde el origen hasta el fin del ciclo de vida (es decir, un material de vaso y una opción de procesamiento de desechos para un flujo de referencia de peso



de vaso). La mayoría de los estudios incorporaron sistemas de vasos adicionales con materiales de vasos alternativos o propiedades de producción. La UF establecida en cada estudio varía desde aquellas donde se toma en cuenta la cantidad de vasos (1, 100, 1000) y los que tomaron en cuenta el volumen que podía contener cada vaso (0.4, 100 L) (136), para bebidas calientes o frías según fuera el caso. La mayoría de los estudios abordan el sistema desde la cuna hasta la tumba (producción de materias primas, conversión, fabricación y disposición). Algunos estudios omitieron la fase de uso. En la evaluación de impacto la categoría que todos comparten es el calentamiento global.

**Tabla 21.** Estudios de ACV aplicados a vasos y tazas, desechables y reutilizables

REFERENCIA	PAÍS O REGIÓN	MATERIALES ANALIZADOS	MÉTODO DE EVALUACIÓN	ESCENARIO DE DISPOSICIÓN FINAL
(135)	Tailandia	ReCiPe	PP, PET, PLA, acero inoxidable para bebidas frías	Reciclado, incineración, compostaje y digestión anaerobia (los últimos dos solo para el PLA)
(136)	Italia	CML y EPD	Desechables: PP, PET, PLA, cartón revestido de PE Reutilizables: PP, PLA, PET, vidrio	Reciclado, recuperación de energía, composteo (para PLA)
(137)	Grecia	IPCC 2013 y ReCiPe	Papel multicapa, reutilizables	Reciclaje, relleno sanitario
(141)	Países bajos	EASETECH	PP, PET, PLA	Reciclaje, incineración, relleno sanitario, compostaje (para PLA)
(140)	Países bajos, Suecia	CML 2001, complementada con la demanda de energía acumulada (CED)	Poliestireno (PS), PLA, papel revestido con PLA	Reciclaje, incineración, composteo y digestión anaerobia (las últimas dos no aplica para PS)
(140)	Países bajos, Suecia	CML 2001, complementada con la demanda de energía acumulada (CED)	PS, reutilizables	Incineración
(129)	Bélgica	Eco-Indicador 99	Polycarbonato reutilizable (PC), PP, cartón recubierto de PE, PLA	Incineración, combustión, compostaje (PLA)

Se encontraron dos ACV en la literatura referente a los platos de un solo uso (desechables), la principal característica de estos estudios es que se centran en el análisis de platos hechos a partir de biomasa como alternativa al plástico. La Tabla 22 expone las principales

características de estos estudios. En ambos estudios los desechables se producen en la India pero unos son usados y desechados en Portugal y los otros en Suecia. Su UF difiere en un orden de magnitud, en el primero se toma como base una tonelada de platos y en el segundo solamente un plato. Ambos estudios analizan desde la cuna hasta la tumba pasando por

la producción, transporte, envasado y la gestión de residuos (incineración, relleno sanitario, digestión anaerobia). Comparten únicamente la categoría de impacto de calentamiento global, mientras que Gautam y colaboradores (2020) analizaron también agotamiento de recursos abióticos, oxidación fotoquímica, eutrofización, acidificación y toxicidad.

**Tabla 22.** Estudios de ACV de los platos de un solo uso

REFERENCIA	PAÍS O REGIÓN	MATERIALES ANALIZADOS	MÉTODO DE EVALUACIÓN	ESCENARIO DE DISPOSICIÓN FINAL
(138)	Portugal	CML 2000	Platos de la palma de Areca	Incineración, relleno sanitario
(130)	Suecia	IPCC	Platos de papel, plato de hojas de árbol	Incineración (papel), digestión anaerobia (hojas de árbol)



En la Tabla 23 se pueden visualizar las principales características de estudios que comprenden el uso conjunto de distintos desechables. Dos de ellos se enfocan en ver cómo se impacta el ambiente con la utilización de estos materiales, comparando biodegradables compostables con los tradicionales, mientras que Herberz y colaboradores (2020) analizaron los materiales tradicionales con la finalidad de conocer los impactos ambientales y poder plantear políticas de prohibición del uso de estos materiales. Se analizaron de la cuna a la tumba, en la disposición final se tomaron en cuenta escenarios de incineración, relleno sanitario y composteo (biodegradables). Las metodologías de análisis difieren entre sí, compartiendo todas las categorías de calentamiento global.

**Tabla 23.** Estudios de ACV para vajilla

REFERENCIA	PAÍS O REGIÓN	MATERIALES ANALIZADOS	MÉTODO DE EVALUACIÓN	ESCENARIO DE DISPOSICIÓN FINAL
(131)	Italia	Guía de Huella Ambiental del Producto (PEF)	Cubiertos biodegradables y compostables: plato de cena (PLA), cuchillo y tenedor (Mater-Bi), sobre para vajilla (PLA), taza (Mater-Bi+papel), servilleta (papel) Cubiertos tradicionales: plato de cena (PS), cuchillo y tenedor (PS), sobre para vajilla (PP), taza (PS), servilleta (papel)	Composteo (cubiertos biodegradables), Incineración, relleno (cubiertos tradicionales)
(132)	Reino Unido	CML 2001	Cuchillo, tenedor, cuchara, cucharilla, popote, agitador, plato	Incineración, relleno sanitario
(133)	Italia	Impact 2001	Tenedor y cuchillo: biodegradables compostables VS tradicional (PS)	Incineración, relleno sanitario, composteo (biodegradables)

## 6.8. ENVOLTURAS PLÁSTICAS

Dentro de esta categoría se encuentran aquellas envolturas de dulces, frituras, galletas y pan. Sin embargo, en la literatura no se encontró información específica en este rubro, la referencia más cercana encontrada fue un estudio realizado por Büsser y Jungbluth (178), donde se llevó a cabo el

ACV de café molido e instantáneo en bolsas stick pack de plástico laminado, con una capa de papel de aluminio como barrera, y los paquetes de mantequilla familiar y de una sola porción, envueltos en un laminado con una capa de papel de aluminio, que son los materiales más cercanos a los que se pretende describir. Se debe tener en cuenta que la mantequilla debe envolverse en un material resistente a la grasa que sea impermeable a sustancias ligeras, aromatizantes y aromáticas. El embalaje analizado consta de tres capas (papel de aluminio, cera sintética y papel). El sistema de envasado que se muestra en este estudio representa el envasado flexible de un cubo de mantequilla de 250 y 15 g, respectivamente. La Tabla 24 muestra las características de dicho análisis. Cabe destacar que cada análisis se llevó a cabo de manera independiente, por lo que se definieron diferentes UF para cada caso. Para el ciclo de vida del café se define como "una taza de café lista para beber en casa o en pequeñas oficinas". La UF relativa a la mantequilla en este estudio es "el suministro de 1 kg de mantequilla lista para comer en casa". Ambos casos consideraron la incineración y relleno sanitario como opciones de disposición final del embalaje.

REFERENCIA	PAÍS O REGIÓN	MATERIALES ANALIZADOS	MÉTODO DE EVALUACIÓN	ESCENARIO DE DISPOSICIÓN FINAL
(178)	Suiza	CML 2001	Bolsas stick pack de plástico laminado para café	El ACV para café abarca todo el sistema de suministro de alimentos desde el cultivo, procesamiento, envasado y transporte de los granos de café hasta la producción y envasado de café molido y soluble, el transporte a los minoristas y los hogares y la preparación que termina con una taza de café lista para consumir.
			Laminado con una capa de papel de aluminio para mantequilla	El ciclo de vida de la mantequilla abarca todo el sistema de suministro de alimentos, desde la producción de leche hasta el almacenamiento de mantequilla en el refrigerador del consumidor.





OceanaMexico



OceanaMexico



oceanamexico



<https://mx.oceana.org/>



[mexico@oceana.org](mailto:mexico@oceana.org)