



**Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza**



Trabajo Fin de

Autor/es

Director/es

Facultad de Veterinaria



ÍNDICE

RESUMEN/ABSTRACT	1
ABREVIATURAS	2
INTRODUCCIÓN	2
JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	6
METODOLOGÍA	6
RESULTADOS	7
 1 Impacto en el medio y su fauna	7
 1.1 Enmallamientos animales	7
 1.2 Sofocación del fondo marino	8
 1.3 Ingestión de plástico	8
 1.4 Uso de materiales plásticos por la fauna	9
 1.5 Efectos en el suelo	10
 1.6 Contaminación del aire	11
 1.7 Impacto en la flora	11
 1.8 Impacto en fauna doméstica	11
 1.8.1 Impacto en animales de compañía: perros y gatos	11
 1.8.2 Impacto en animales de abasto	12
 2 Contaminantes químicos ligados al plástico	13
 2.1 Ftalatos	14
 2.2 Bisfenoles	15
 2.3 COPs: contaminantes orgánicos persistentes	15
 2.4 Metales pesados	16
 3 Efectos biológicos/tóxicos en animales	17
 3.1 Efectos reproductivos	18
 3.2 Perturbación endocrina	19
 3.3 Neurotoxicidad	20
 3.4 Cardiotoxicidad	21
 3.5 Carcinogénesis	21
 3.6 Otros	22
 3.6.1 Ftalatos	22

3.6.2	BPA y sustituyentes	23
3.6.3	COPs	23
3.6.4	Metales pesados	24
4	Impacto en la cadena trófica/alimentaria	24
4.1	Incorporación de plástico a la cadena trófica	25
4.2	Plástico en alimentación humana	25
4.3	Alimentos estudiados con contenido plástico	28
5	Peligros bióticos y antibiorresistencias ligados al plástico	30
6	Legislación	30
	CONCLUSIONES/CONCLUSIONS	31
	VALORACIÓN PERSONAL	32
	BIBLIOGRAFÍA	33

RESUMEN

El problema de la contaminación plástica es aún poco visible en la práctica veterinaria. El término One Health revela la necesidad de englobar la salud medioambiental, animal y humana como un conjunto para lograr un equilibrio global. Los efectos producidos por los materiales plásticos, así como los químicos y microorganismos asociados a ellos, afectan a los tres pilares, muy relacionados con el ámbito veterinario. En este trabajo se describe el problema desde las tres perspectivas, explicando su efecto medioambiental, en la cadena alimentaria como Salud Humana y en los animales tanto domésticos como silvestres, exponiendo claramente su relación. En el medioambiente alteran los ecosistemas y producen la muerte directa o indirecta de fauna tras provocar patologías como asfixia o amputaciones. En su expansión a lo largo del planeta pueden dispersar enfermedades infecciosas y vectoriales. A partir de la caza, pesca o los piensos de alimentación animal contaminados estos tóxicos entran en la cadena alimentaria, aunque también pueden penetrar al organismo vía dérmica o inhalatoria. Se ha demostrado que algunos de los químicos asociados, como el BPA o el DEHP, provocan toxicidad reproductiva, hormonal, cardiaca, hepática, neurológica y renal, además de jugar un papel clave en el desarrollo de tumores. A pesar de ello son pocos los estudios realizados, lo cual hace indispensable ampliar el conocimiento del problema.

ABSTRACT

The problem of plastic pollution is still inconspicuous in the veterinarian practice. The concept of One Health shows the necessity to encompass environmental, animal and human health as a whole to get a global balance. The effects produced by plastic materials, as well as the chemicals and microorganisms associated to them, affect the three pillars, closely related to the veterinarian field. In this work the problem is described from the three perspectives, explaining its environmental effect, in the food chain as human health and in both domestic and wild animals's health, clearly stating their connection. In the environment it disturbs ecosystems and produces the direct or indirect death in the fauna after provoking pathologies as suffocation or amputation. In their expansion throughout the planet, they can spread infectious and vector diseases. From hunting, fishing or through contaminated animal feed, these toxic compounds can enter the food chain, although they can also get in the body through the skin or the air, by inhalation. Some of the associated chemicals, such as BPA or DEHP, can produce reproductive, hormonal, cardiac, liver, neurological and kidney disorders, in

addition to playing a key role in the development of tumors. Despite this, few studies have been carried out, which makes it essential to expand knowledge of the problem.

ABREVIATURAS

- EFSA: European Food Safety Authority.
- AESAN: Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición.
- ACSA: Agència Catalana de Seguretat Alimentària.
- ATSDR: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.
- COPs: contaminantes orgánicos persistentes.
- DEHP: ftalato de bis(2-etilhexilo).
- MEHP: mono(2-etilhexil)ftalato.
- BPA: Bisfenol A.
- BADGE: éter Di-Glicidil bisfenol A.
- BPAF: Bisfenol AF.
- BPS: Bisfenol S.
- HAPs: hidrocarburos aromáticos políclicos.
- PHAHs: hidrocarburos aromáticos polihalogenados.
- PCB: Bifenilos policlorados.
- PBDE: éteres difenílicos polibromados.
- PFOS: sulfonato de perfluorooctano.
- PFOA: sulfonato de perfluorooctanato.
- BaP: venzo (a) pireno.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años varios estudios han detectado partículas plásticas de muy pequeño tamaño (microplásticos) en todo tipo de aguas, alimentos e incluso en muestras biológicas humanas (Agència Catalana de Seguretat Alimentària, 2019). El uso de plástico está totalmente generalizado, usándose en la fabricación de innumerables objetos empleados en la vida cotidiana como envases de alimentos, ropa, juguetes, electrónica, utensilios de cocina, material médico, etc. Muchos de ellos son destinados a un solo uso y la cantidad reciclada es insignificante, haciendo del planeta un vertedero de materiales que pueden tardar hasta 500

años en degradarse (*figura 1*). Actualmente la preocupación por la contaminación plástica en la sociedad ha aumentado, tanto en términos medioambientales como sanitarios por sus efectos en la salud humana y animal. Ya en 2014 la EFSA identificó a los microplásticos como riesgo emergente (Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2017).



Figura 1: Acúmulo de basura plástica en un vertedero asiático (National Geographic, 2020a).

El término plástico deriva del latín “plasticus”, y este a su vez del griego “plastikos”. Son polímeros obtenidos a partir del petróleo combinado con diferentes aditivos, obteniéndose así una multitud de tipos de plástico (Rojo-Nieto y Montoto, 2017). La producción mundial en 2017 casi alcanzó los 350 millones de toneladas, de las cuales 64,4 se produjeron en Europa. Asia produce más del 50% del total del plástico, siendo China el mayor productor. Europa ocupa el tercer lugar con una producción del 18,5% (*figura 2*). Dentro de esta destaca Alemania como principal demandante, seguido de Italia, Francia y España. En torno al 40% se destina a embalaje y envasado, casi el 20% a construcción y un 10% al sector de automoción (PlasticsEurope, 2018).

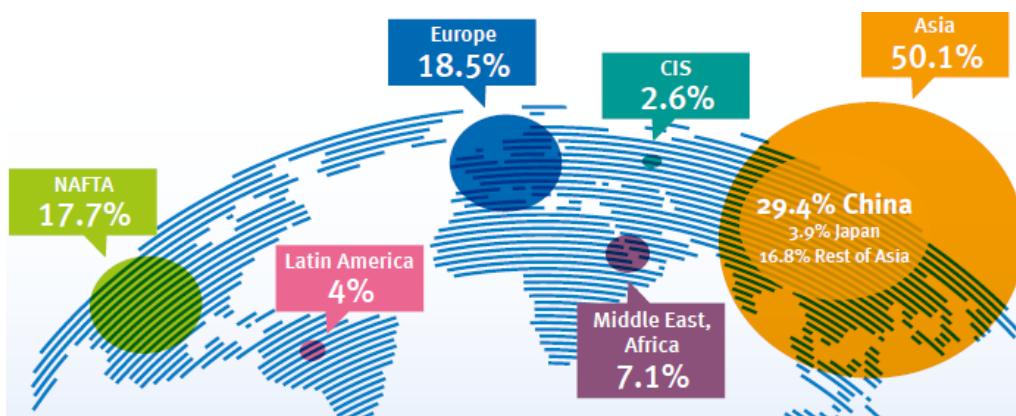


Figura 2: Producción mundial de plástico (PlasticsEurope, 2018).

Los fragmentos plásticos llegan al mar a través de vertidos y se desplazan y acumulan hasta en lugares tan lejanos de las fuentes como son los mares polares. En su recorrido pueden provocar la muerte directa o indirecta de los animales tras quedar atrapados, ingerir materiales plásticos o alterar la estructura celular y la fisiología de los organismos a consecuencia de los productos tóxicos liberados (Boelee *et al.*, 2019). El 17% de las especies animales afectadas se incluyen en la lista roja de la IUCN (International Union for Conservation of Nature) como amenazadas o casi amenazadas. Además pueden transportar junto a ellos especies que se comportarán como invasoras en los nuevos ecosistemas, patógenos, vectores y contaminantes tanto propios (aditivos) como adquiridos en su recorrido (Bolee *et al.*, 2019; Rojo-Nieto y Montoto, 2017).

El aire atmosférico también presenta contaminación plástica y afecta a los seres vivos a través de la respiración y el depósito sobre alimentos y polvo del hogar (Toussaint *et al.*, 2019). En el suelo los microplásticos pueden afectar a la supervivencia, crecimiento, reproducción, alimentación y sistema inmunitario de los organismos. Además es probable que los microplásticos de menor tamaño sean capaces ingresar en las células vegetales, alterando la fisiología del organismo y constituyendo un riesgo para la salud alimentaria por transferencia trófica (Zhu *et al.*, 2019; Barboza *et al.*, 2018).

Relacionado con el impacto en la cadena trófica, los microplásticos son confundidos con plancton por muchos invertebrados marinos, siendo ingeridos y transferidos a eslabones superiores, animales o humanos. Esto repercute en problemas de bioacumulación y biomagnificación de los contaminantes plásticos y de las sustancias asociadas, pudiendo incrementarse los efectos tóxicos en los individuos superiores de la cadena. Entre estas sustancias encontramos los COPs (Contaminantes Orgánicos Persistentes), los ftalatos (como por ejemplo DEHP o ftalato de bis(2-etilhexilo)), el bisfenol A (BPA), el benceno o los metales pesados. Muchos de estos compuestos químicos tienen graves efectos toxicológicos demostrados, destacando la toxicidad reproductiva, la carcinogenicidad, la mutagenicidad y el efecto como perturbadores endocrinos (Sandeep y Chen, 2018; Seachrist *et al.*, 2016; Inadera, 2015).

De esta manera se ve comprometida la salud animal tanto silvestre como doméstica debido a la exposición constante a materiales plásticos. El ámbito de la Salud Animal es específico veterinario, por lo que es un problema que afecta a la profesión veterinaria clínica. Sumado a este ámbito de Salud Animal está el campo de Salud Pública y Seguridad Alimentaria de alimentos tanto de origen animal como vegetal, las cuales también son de responsabilidad

veterinaria. Es por ello que en este trabajo se intentan describir los procesos y afecciones del problema emergente que supone la contaminación plástica de cara a un mayor control y consideración en el futuro próximo.

La clasificación del plástico se realiza por tamaño y composición. Por su tamaño no hay una clasificación estandarizada, pero a grandes rasgos se observan dos grupos: macroplásticos y microplásticos. El límite más aceptado entre ambos son los 5 mm, considerándose macroplásticos a aquellas partículas con un tamaño superior y microplásticos a aquellas con un uno inferior. Algunos autores hacen una subclasificación de los microplásticos estableciendo las categorías de mesoplásticos (500 µm –5 mm), microplásticos (50-500 µm) y nanoplásticos (<50 µm). Sin embargo estos rangos tampoco están estandarizados ni hay un consenso sobre los mismos, por lo que resultan modificados a medida que avanzan los estudios (*figura 3*) (Toussaint *et al.*, 2019; Rojo-Nieto y Montoto, 2017).

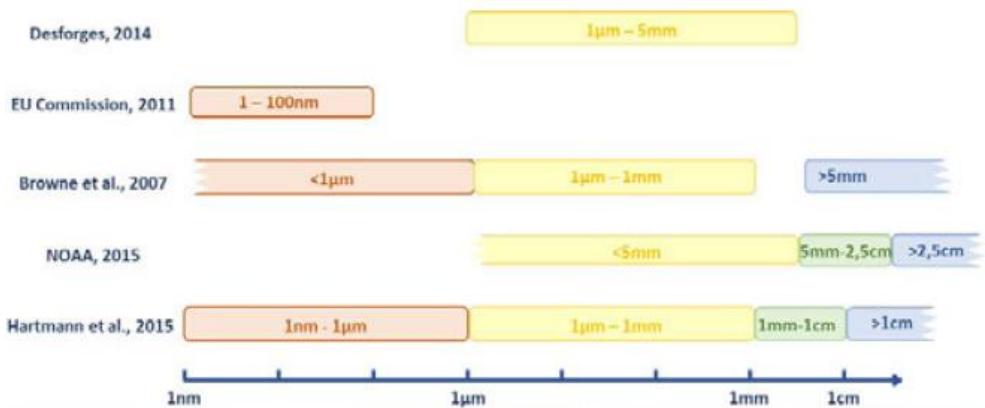


Figura 3: Diferentes propuestas sobre el rango de tamaños para definir los plásticos según diferentes autores, basado en una versión de da Costa *et al.* (2016). En rojo nanoplásticos, en amarillo microplásticos, en verde mesoplásticos y en azul macroplásticos (Rojo-Nieto y Montoto, 2017).

Los microplásticos o cualquiera de sus subcategorías pueden considerarse primarios si son liberados ya con un tamaño microscópico a partir del uso de productos exfoliantes, pastas de dientes o medicamentos, o secundarios al surgir tras los procesos de degradación de macroplásticos por efecto del sol o el agua (Wang *et al.*, 2018; Rojo-Nieto y Montoto, 2017). Otra fuente de microplásticos secundarios es el rozamiento de materiales plásticos con superficies, como los neumáticos sobre el asfalto o las microfibra liberadas de las prendas de vestir durante su lavado (Toussaint *et al.*, 2019).

En cuanto a la clasificación por su composición, el gran número de compuestos y aditivos utilizados dan lugar a los diversos tipos de plásticos, enumerados según su composición química: 01 o Polietileno Tereftalato (PET) usado en la fabricación envases como botellas de agua, 02 o Polietileno Alta Densidad (PEAD/HDPE) utilizado en envases más rígidos como botellas de leche, 03 o Cloruro de Polivinilo (PVC) utilizado en juguetes, dispositivos médicos y tuberías, 04 o Polietileno Baja Densidad (PEBD/LDPE) usado para fabricar bolsas y embalajes, 05 o Polipropileno (PP) como el empleado en las pajitas de refresco, 06 o Poliestireno (PS/PES) usado en cubiertos desechables y 07 o grupo de otros plásticos y materiales compuestos como el PC (Policarbonato), la poliamida (PA) o los nuevos plásticos biodegradables fabricados a base de almidones vegetales (INOQUOS, 2018).

JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Dada la actual y creciente preocupación por el tema y la escasa información disponible he considerado interesante profundizar y conocer el alcance del problema de la contaminación plástica desde el punto de vista veterinario. Los objetivos de este trabajo son:

- Conocer y visibilizar la magnitud del problema en relación con el concepto One Health.
- Grado de exposición e impacto que genera en diferentes ecosistemas y sistemas.
- Conocer su relación con la salud humana por medio de la transferencia trófica.
- Considerar los estudios toxicológicos realizados y su relación con la patología animal (y humana).

METODOLOGÍA

La realización de esta revisión bibliográfica se ha llevado a cabo consultando diversas fuentes bibliográficas, principalmente bases de datos de artículos científicos, entre ellas PubMed y Google Scholar. Se ha acotado la búsqueda a los últimos 5 años para encontrar los resultados más recientes a modo de introducción en el tema y posteriormente se ha ampliado este rango con artículos de las dos últimas décadas. Se han empleado palabras clave en inglés como "plastics and animal health", "plastics and BPA", "pftalates in animals", "chemical plastic in animal health", "toxic effects of plastic in animals" y "microplastics in animal health". También se han consultado sitios webs de organismos oficiales como AESAN e informes online como los de *PlasticsEurope*, AESAN o *Ecologistas en Acción*.

RESULTADOS

1. IMPACTO EN EL MEDIO Y SU FAUNA.

El plástico es un contaminante ubicuo en todos los ecosistemas terrestres y acuáticos. En su expansión y recorrido por el planeta produce un impacto en la fauna terrestre y acuática. En el mar se distribuye siguiendo los principales giros subtropicales y la gran variedad de formas y densidades permite su amplia dispersión desde el sedimento hasta la superficie, estando disponible para numerosas especies (de Sá *et al.*, 2018; Rojo-Nieto y Montoto, 2017). A continuación se explican los efectos perjudiciales más importantes.

ENMALLAMIENTOS ANIMALES

Los macroplásticos afectan a diferentes especies como focas, ballenas, tortugas, cangrejos, pulpos o alcatraces al provocarles la muerte de forma directa o indirecta (*figura 4*). En el medio marino los aparejos de pesca son los principales responsables de los enmallamientos y atrapamientos, pero también los producen cuerdas, bolsas de plástico y las anillas de los packs de latas, que enredan a los animales produciéndoles malformaciones, amputaciones, asfixia, afección de la flotabilidad o limitación de movimientos que impiden su alimentación. El comportamiento juguetón de los animales jóvenes provoca una mayor incidencia en las crías, sufriendo alteraciones del crecimiento (Rojo-Nieto y Montoto, 2017). Las 7 especies de tortuga marina se ven afectadas por este problema, al igual que el 67% de las 33 especies de foca, el 31% de las 80 especies de ballenas y el 25% de las 406 especies de aves marinas (Garay Crespo, 2019).

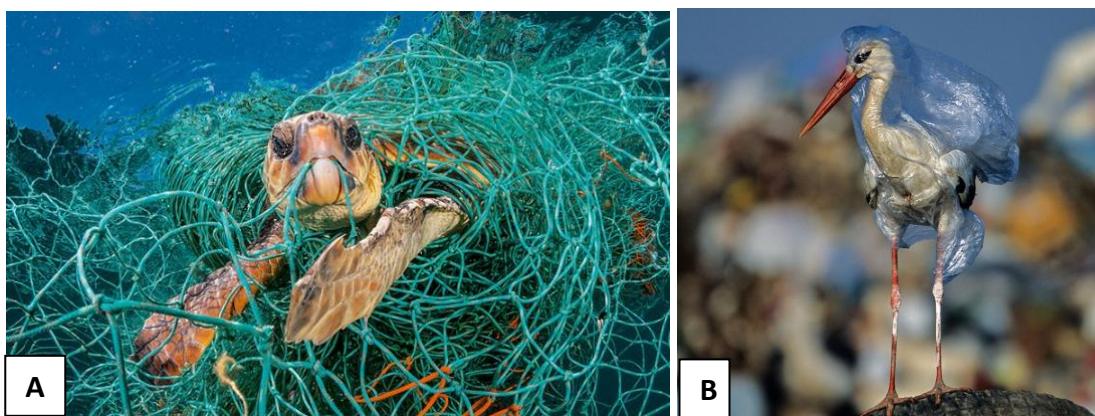


Figura 4: A) Tortuga atrapada en el Mediterráneo en aparejos abandonados de pesca, conocidos como pesca fantasma, Jordi Chias. B) Cigüeña atrapada con una bolsa de plástico, la cual le impide el vuelo y la alimentación, John Cancalosi (National Geographic, 2020a).

SOFOCACIÓN DEL FONDO MARINO

La acumulación de macroplásticos impide la llegada de luz solar, disminuyendo la cantidad de oxígeno e incrementando la de amonio. Los microplásticos que quedan enterrados en el sedimento aumentan su permeabilidad y con ello disminuye la difusividad térmica y las temperaturas máximas, alterando la fisiología y reproducción de los organismos que lo habitan (Rojo-Nieto y Montoto, 2017).

INGESTIÓN DE PLÁSTICO

Quizá el efecto perjudicial más conocido socialmente de la contaminación plástica sea la ingestión de plástico al ser confundido con alimento (*figura 5*). En este aspecto los animales marinos son los más estudiados. Provocan disrupciones estomacales, úlceras, obstrucciones, bloqueo de apéndices de captura de alimento, sensación de saciedad al ocupar espacio en el digestivo o limitación en la absorción de nutrientes, muriendo por desnutrición. Además los organismos pueden absorber microplásticos y alcanzar distintos tejidos, especialmente los nanoplásticos, causando daños físicos por las propias partículas o por los químicos liberados y alterando la función celular (Barboza *et al.*, 2018; Rojo-Nieto y Montoto, 2017).



Figura 5: A) Albatros muerto a causa de la ingestión plástica. B) Su contenido estomacal, desde macroplásticos a nanoplasticos, Mandy Barker (National Geographic, 2020a).

En mamíferos terrestres se ha detectado este problema en rumiantes salvajes (Priyanka y Dey, 2018), y son más de 177 las especies marinas afectadas por ingestión, provocando complicaciones como obstrucción intestinal y perforación. El 100% de las tortugas marinas se encuentran afectadas por la ingestión de macroplásticos, entre ellos bolsas (Rojo-Nieto y Montoto, 2017). Müller, Townsend y Matschullat (2012) estudiaron la descomposición gastrointestinal de bolsas de plástico estándar, degradables y biodegradables en tortugas

marinas *Chelonia mydas* (tortuga verde) y *Caretta caretta* (tortuga boba) durante 49 días. Las bolsas estándar y las degradables sufrieron una descomposición insignificante y las biodegradables perdieron solamente un 3-9% de masa. Su baja degradabilidad confirma que continúan siendo un problema en el medio acuático (Müller, Townsend y Matschullat, 2012).

A la ingestión de los plásticos se asocian dos efectos más sobre la fauna: la incorporación de contaminantes químicos y su transferencia trófica a eslabones superiores. Este tema se abordará en mayor profundidad posteriormente dada su extensión y estrecha relación con la profesión veterinaria.

USO DE MATERIALES PLÁSTICOS POR LA FAUNA

Según Rojo-Nieto y Montoto (2017) las aves usan residuos para hacer sus nidos, según se ha comprobado en la población de alcatraces de EEUU, donde el 75% de los nidos poseían restos de basuras marinas. Los materiales encontrados en los nidos varían entre papel de aluminio, plásticos, cuerdas y prendas de vestir (*figura 6*). Estos materiales son utilizados en la fabricación de nidos al no encontrar material natural o al existir muchos desechos, como construcción, decoración, para ahuyentar parásitos, para el cortejo, etc. Los nidos de aves terrestres están significativamente más afectados que los de marinas, y las aves sinantrópicas (adaptadas al ecosistema modificado por humanos) usan más desechos que las no sinantrópicas. En el 84% de los nidos con desechos estudiados por Jagiello et al., 2019 estos eran usados como material de construcción y un 20% se encontró como resultado de un intento de alimentación o tras una regurgitación del material para alimentar a los polluelos. Como problemas derivados de su presencia en nidos están los enredos y la ingestión (Jagiello et al., 2019).



Figura 6: nido de Turpial que incorpora plástico en su construcción, Richard Barnes, Universidad de Costa Rica (National Geographic, 2020a).

El uso de los desechos se relaciona con la HFI (Índice Global de Huella Humana), lo cual demuestra que los organismos se ven obligados a adaptarse a los cambios que provoca el ser humano (*figura 7*). Un estudio en cigüeña blanca reveló que el uso de desechos en los nidos se correlacionaba con la cantidad de residuos en su entorno. Comportamientos como estos pueden servir como indicadores de contaminación ambiental (Jagiello *et al.*, 2019).

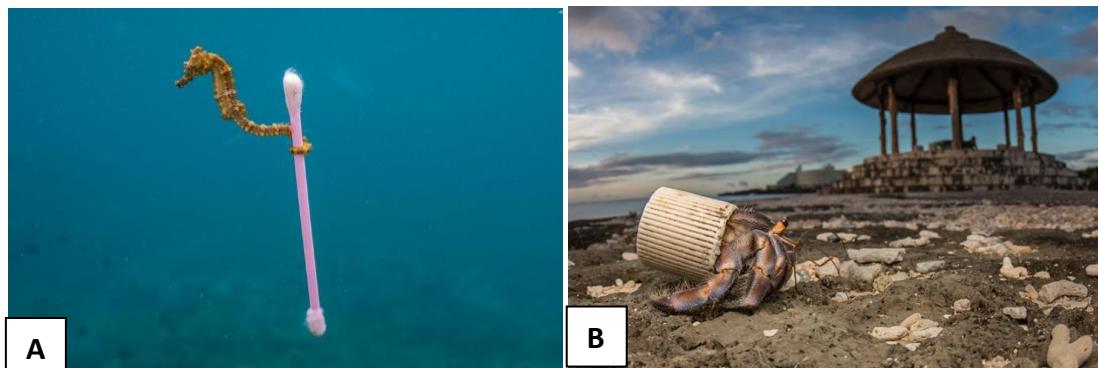


Figura 7: A) Caballito de mar usando un bastoncillo para desplazarse en lugar de materiales naturales como algas, Justin Hofman. B) Cangrejo ermitaño empleando un tapón de botella para protegerse en lugar de emplear conchas, Shawn Miller (National Geographic, 2020a).

EFFECTOS EN EL SUELO

El suelo es un componente clave en el mantenimiento de la biodiversidad. Hay investigadores que afirman que los suelos pueden estar recibiendo más desechos plásticos que los océanos, pudiendo afectar a flora y fauna. Por ejemplo un estudio sobre el nemátodo *Caenorhabditis elegans* expuesto durante 3 días a PS demostró una tasa de supervivencia más baja, la vida media más corta, una menor longitud del cuerpo y una disminución de la expresión de los genes unc-17 y unc-47, los cuales reflejan daño en neuronas colinérgicas y GABAérgicas. Otro estudio demostró que el PS sobre el oligoquito *Enchytraeus crypticus* altera su flora intestinal (Zhu *et al.*, 2019).

La aplicación de lodos y fertilizantes es la principal vía de entrada de microplásticos al suelo. Hay estudios que afirman que hasta el 90% de los microplásticos de las aguas residuales se acumulan en el lodo. No es la única vía de entrada, ya que también recibe contaminación plástica por el uso de lonas plásticas en cultivos, por el depósito de partículas atmosféricas, escorrentía superficial, etc. El depósito de los mismos puede realizarse a cualquier nivel de profundidad y pueden cambiar de estrato o viajar a diferentes distancias por procesos agrícolas, biológicos o la erosión. Además la degradación del plástico en el suelo es muy lenta.

Un estudio reveló que en un año el PP del suelo tan solo se degradó en un 0,4%, y otro que ni el PVC ni el PS enterrados se degradaban en 32 años. Sin embargo hay estudios que demuestran que los gusanos de cera, de la harina y *Zophobas atratus* son capaces de digerir plásticos, del mismo modo que ocurre con ciertas cepas bacterianas y fúngicas (National Geographic, 2020b; Zhu *et al.*, 2019).

CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Algunos estudios demuestran que existen fibras textiles en la atmósfera en concentraciones de hasta 60 fibras/m³. La concentración en aire es mayor en zonas urbanas e industriales. Un estudio de 1998 informó que el 87% de los humanos examinados presentaban fibras de plantas y microplásticos en los pulmones. Las partículas se inhalan más cuanto menor es su tamaño y pueden penetrar y persistir en los pulmones. Las fibras más grandes se acumulan en el polvo, alcanzando el 29% de la composición del polvo del hogar. Estas partículas pueden depositarse sobre los alimentos, comprometiendo la seguridad alimentaria (Toussaint *et al.*, 2019).

IMPACTO EN LA FLORA

La capacidad de las nanopartículas de ingresar en células vegetales permite incorporar sustancias plásticas y químicas asociadas a la matriz vegetal, afectando a su función, estructura y fisiología. Además al tratarse de la base de la pirámide trófica son una vía de entrada de contaminantes a niveles tróficos superiores (Zhu *et al.*, 2019; Barboza *et al.*, 2018).

Otros efectos ligados al plástico de los que se hablará más adelante son el transporte de patógenos y su relación con el aumento de antibiorresistencias.

IMPACTO EN FAUNA DOMÉSTICA

✓ IMPACTO EN ANIMALES DE COMPAÑÍA: PERROS Y GATOS.

Al igual que los humanos con los que conviven, las mascotas están expuestas a productos químicos procedentes de productos de higiene, juguetes, alimentos, medicamentos, polvo y aire. En EEUU hay restricciones en el uso de ciertos aditivos en la fabricación de productos para niños, pero no los hay para juguetes para mascotas. El comportamiento natural de estos animales implica morder y lamer objetos o acicalarse, aumentando su exposición. Hay estudios que revelan que las mascotas son más vulnerables que los humanos a los efectos de los

químicos debido a su pequeño tamaño, vida media corta y la alta exposición. Todo esto puede relacionarse con el aumento de las patologías en mascotas como cáncer, hipotiroidismo, diabetes, cardiopatías y alteraciones renales (Karthikraj, Lee y Kannan, 2019).

Los tratamientos veterinarios también son una fuente de exposición a los plásticos y sus químicos. Durante ciertos tratamientos los animales están expuestos a altas dosis de químicos lixiviados de los materiales de PVC, principalmente ftalatos. El grado de exposición depende de la frecuencia y la duración del procedimiento y del tipo de dispositivo médico. Algunas de las técnicas con mayor grado de exposición son la hemodiálisis, las transfusiones y la nutrición parenteral o enteral (Badia-Tahull et al., 2018).

Un estudio en animales de compañía detectó partículas de PVC de hasta 110 µm en la vena porta en perros, lo cual demuestra su absorción y distribución sanguínea. Las placas de Peyer del íleon podrían ser el lugar en el que se produjera la mayor absorción de estos contaminantes (ACSA, 2019).

✓ IMPACTO EN ANIMALES DE ABASTO.

Priyanka y Dey (2018) estudiaron la impactación ruminal por ingestión de plásticos. Es frecuente en ganado vacuno de países en vías de desarrollo por el pasto en zonas urbanas contaminadas (*figura 8*). Los objetos más habituales son bolsas de plástico y envoltorios de alimentos y es más frecuente en hembras al precisar de balances energéticos mayores, en animales viejos por exposición acumulada y en animales con mala condición corporal. La prevalencia en mataderos ronda el 74% en Jordania, el 62% en Pakistán, más del 80% en Nigeria y el 72% en Kenia.



Figura 8: A) Rebaño pastando sobre un vertedero. B) Contenido de una impactación ruminal a consecuencia de la ingestión de plásticos (Priyanka y Dey, 2018).

La presencia de plástico en rumen provoca un falso estado de saciedad que desemboca en hiporexia. Este material daña la pared ruminal y afecta a la digestión y fermentación, produciendo indigestión. Los materiales plásticos pueden obstruir el paso del bolo alimenticio al omaso, lo cual reduce la motilidad ruminal hasta llegar a una impactación ruminal y timpanismo. Si se tapona también el orificio esofágico se imposibilita el eructo, desembocando en disnea por compresión y muerte. Los materiales plásticos pueden formar tricobezoares y camuflar materiales metálicos afilados que serán ingeridos accidentalmente. Estos pueden atravesar la pared ruminal y provocar peritonitis local o difusa o reticulopericarditis traumática al alcanzar el corazón. A estas patologías derivadas de la presencia de plásticos se suman las derivadas de los compuestos químicos que arrastran. Como consecuencia se producen pérdidas económicas por una menor producción de leche y carne, menor capacidad de tiro, enfermedades concomitantes y mortalidad (Priyanka y Dey, 2018).

El funcionamiento del rumen tras la exposición a plásticos con metales pesados se evaluó en el estudio de Mahadappa et al. (2020) en búfalos. En los resultados se halló una disminución significativa de la densidad de protozoos y motilidad ruminal, y aumento del pH, tiempo de reducción de azul de metileno (MBRT) y tiempo de actividad de sedimentación (SAT), corroborando la afección ruminal.

En cuanto a la contaminación plástica de los piensos animales, debido a que el 60% del pescado no se destina a consumo humano (cabezas, vísceras, huesos y piel) estos subproductos contaminados se destinan a la fabricación de harinas de pescado para alimentación animal. De esta manera el pienso puede incorporar contaminación plástica a los animales de abasto (Toussaint *et al.*, 2019; ACSA, 2019).

Por este motivo el impacto en los animales de abasto condiciona el generado en la cadena alimentaria, estando íntimamente relacionados. Es un tema que se desarrollará más adelante.

2. CONTAMINANTES QUÍMICOS LIGADOS AL PLÁSTICO

Hasta ahora se han desarrollado los efectos ocasionados por el residuo plástico como tal, sin embargo, estos materiales contienen sustancias químicas añadidas como aditivos durante su fabricación o incorporadas durante su uso o permanencia en el medio que originan efectos adicionales.

El estudio de Wang et al. (2018) comparó la capacidad de adsorción de diferentes plásticos. Los contaminantes más frecuentes en los microplásticos son los PCBs, encontrados en mayor concentración en las grandes urbes. Pueden contener HCH como el lindano en zonas remotas debido a su antiguo uso como insecticida. El estudio por colores reveló que los microplásticos envejecidos o decolorados son los más contaminados debido a que la adsorción es mayor cuanto mayor es la permanencia en el medio ambiente, además con la degradación aumenta la superficie de adsorción. Entre los distintos plásticos el PE tiene una mayor capacidad de adsorción y afinidad por la mayoría de productos químicos. En cuanto al tamaño, cuanto más pequeños mayor área de adsorción.

La capacidad de acumulación de estas sustancias en los organismos depende de la fisiología, dosis, duración de la exposición, etc. Además su absorción depende de las concentraciones que existan en los tejidos animales y en los plásticos incorporados, ya que de ser superior la concentración en el organismo los microplásticos podrían actuar como “limpiadores” al retirar sustancias químicas de los tejidos (de Sá *et al.*, 2018).

A continuación se introducen las diferentes sustancias químicas presentes en el plástico.

FTALATOS

Uno de los aditivos más ampliamente extendidos. Son diésteres sintéticos lipofílicos utilizados como plastificantes de PVC en juguetes, dispositivos médicos y envases de alimentos. Se agrupan en ftalatos de alto peso molecular (HMW) como el DEHP y de bajo peso molecular (LMW). El plastificante más utilizado es el DEHP, el cual forma entre el 20 y el 40% del peso del PVC (Badia-Tahull *et al.*, 2018; Elika, 2019).

No están unidos covalentemente a la matriz del polímero por lo que resultan muy fáciles de extraer con su uso y son cedidos al material en contacto con ellos. Los tratamientos médicos y veterinarios como la nutrición enteral o parenteral mediante materiales PVC contribuyen a la exposición al arrastrar durante su uso DEHP al torrente sanguíneo. Respecto a su liberación de los envases de alimentos, en 2019 la EFSA reevaluó el riesgo y añadió que esta exposición no es una preocupación para la salud pública (Badia-Tahull *et al.*, 2018; Elika, 2019).

También pueden ingresar al organismo vía inhalatoria, dérmica, transplacentaria y durante la lactancia. Una vez en el organismo, los ftalatos se metabolizan rápidamente a sus formas monoéster, la forma utilizada para la monitorización de la exposición, y otros metabolitos que tras conjugarse se excretan por orina. La presencia de ftalatos en orina es generalizada, encontrándose principalmente el metabolito mono(2-etilhexil)ftalato (MEHP), que se piensa

que es responsable de la mayor parte de la toxicidad del DEHP (Karthikraj, Lee y Kannan, 2019; Badia-Tahull et al., 2018; Sandeep y Chen, 2018; Elika, 2019).

Estudios realizados en Dinamarca y EEUU encontraron ftalatos en juguetes para mascotas, y de los estudios que demuestran su presencia en alimentos humanos en el Reino Unido puede extrapolarse que los piensos de mascotas son otra fuente para perros y gatos (Karthikraj, Lee y Kannan, 2019).

BISFENOLES

Otros aditivos muy extendidos. Son compuestos químicos empleados en la producción de policarbonatos de los que se componen objetos como biberones y resinas epoxídicas que recubren el interior de latas de conserva. El más empleado es el Bisfenol A (BPA), el cual puede migrar del envase al alimento. Un estudio de 2010 reveló que los productos enlatados aportan el 10-40% de la ingesta diaria de bisfenol A, por ello se comenzó a sustituir por otros como el bisfenol F (BPF), S (BPS) o el halogenado, pero también pueden resultar tóxicos (Hafezi y Abdel-Rahman, 2019; Caporossi y Papaleo, 2017; Inadera, 2015).

La vida media del BPA en humanos es de menos de 6 horas pero la exposición diaria mantiene los niveles en el organismo. En la orina se mide el metabolito BPA-glucurónido o el BPA total, la forma más fiable de medir la exposición. Se fue prohibiendo su uso en biberones y en Francia en cualquier alimento o bebida en 2015 (Hafezi y Abdel-Rahman, 2019; Caporossi y Papaleo, 2017; Inadera, 2015).

COPs: CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES

Son compuestos orgánicos que una vez liberados a la naturaleza persisten, se distribuyen y biomagnifican en la cadena alimentaria al ser liposolubles y fácilmente absorbibles. Engloban los HAPs (hidrocarburos aromáticos políclicos) y los PHAHs (hidrocarburos aromáticos polihalogenados) como los PCBs, PBBs y las dioxinas. Los HAPs como el benzopireno surgen en la combustión de derivados del carbón o petróleo mientras que los PCBs y PBBs tienen usos industriales asociados a cloro (PCBs: bifenilos policlorados) o bromo (PBBs: bifenilos polibromados). Los PCDDs y PCDFs, conocidos como dioxinas, surgen en la combustión de compuestos orgánicos en presencia de cloro a más de 1200°C, como ocurre en las incineradoras de plástico (Gupta, 2012).

A modo de bioindicadores de los niveles de contaminación por COPs el estudio de Isosaari et al. (2006) buscaba dioxinas, PCBs, naftalenos policlorados (PCN) y PBDE (polibromados) en el

mar Báltico y lagos de Finlandia. Los niveles de PCDD superaron los permitidos en la UE en especies marinas y en los lagos las concentraciones eran más bajas, salvo en el caso de PBDE. El estudio de Parera et al. (2013) monitorizó los mismos compuestos años más tarde en peces y marisco de consumo humano en el Delta del Ebro. En este estudio los niveles detectados estaban por debajo de los límites legales de la UE.

Dentro de los COPs se encuentran los retardantes de llama bromados o BFRs. Son compuestos químicos artificiales ignífugos añadidos a muebles, aparatos electrónicos o textiles. Son análogos de BPA con Br o Cl, como es el caso del TBBPA o el TCBPA. La principal vía de exposición es la ingestión de productos de origen animal, aunque también pueden estar presentes en aceites vegetales (AESAN, 2017; Inadera, 2015).

Otro ejemplo de COPs es el DDT (diclorodifeniltricloroetano), un pesticida usado extensamente en el pasado para controlar insectos en agricultura y la propagación de enfermedades como la malaria. El DDE y el DDD son compuestos químicos similares al DDT formados a partir de su degradación. La exposición a estos contaminantes ocurre principalmente al ingerir alimentos contaminados como tubérculos, carne y pescado (Wang et al., 2018; Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2002).

Los compuestos perfluorados como el PFOS (sulfonato de perfluoroctano) o el PFOA (sulfonato de perfluoroctanato) son químicos usados como impermeables, antiadherentes o ignífugos en ropa, sartenes o pesticidas. El estudio de Vicente et al., 2012 buscaba compuestos perfluorados o PFC en huevos de gaviota patiamarilla (*Larus michahellis*) en la Península Ibérica. Se encontró únicamente PFOS, hallado en mayor concentración en el noreste al ser una zona con mayor desarrollo industrial.

El lindano es un tipo de hexaclorociclohexano HCH antiguamente utilizado como insecticida. Es un sustancia organoclorada tóxica y con capacidad bioacumulativa asimilada en el cuerpo mediante ingestión, inhalación o contacto dérmico (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, 2017).

METALES PESADOS

Son metales inertes en el medio ambiente que persisten y se bioacumulan a lo largo de la cadena, alcanzando las mayores concentraciones en los organismos más predadores. Ríos como el Karnaphuli en Bangladesh están altamente expuestos debido a vertidos industriales, ganaderos y fertilizantes. Los más importantes son Hg, As, Pb, Cd, Cr y Cu. El estudio de

Shafiuddin Ahmed et al., 2019 detectó unos valores entre aceptables y excedentes en todos ellos. El valor del riesgo carcinogénico o CR se situaba bastante cerca del valor máximo y los niños eran 6 veces más susceptibles. En los ejemplares analizados el metal hallado en mayor concentración era el Pb seguido de As, y las especies bentónicas tenían mayores concentraciones debido a su mayor proximidad al sedimento contaminado (Shafiuddin Ahmed et al., 2019).

A todas estas sustancias químicas hay que sumar los productos de degradación que se forman en la superficie de los plásticos por reacciones químicas o fotoquímicas durante su estancia en el medio ambiente. Además una vez en el organismo los plásticos se consideran materiales inertes pero sus propiedades superficiales les permiten absorber macromoléculas como proteínas y lípidos de los fluidos biológicos, formándose una corona alrededor de los mismos que puede modificar la interacción de la partícula con las células y condicionar su toxicidad (ACSA, 2019).

3. EFECTOS BIOLÓGICOS/TÓXICOS EN ANIMALES

Sus efectos tóxicos derivan del propio plástico y de las sustancias químicas que vehicula. Los microplásticos en sí mismos pueden causar embolización vascular, inflamación asociada a la acción fagocítica o potenciar la respuesta inmunitaria debido a las moléculas que hayan podido absorber. Además la continua fragmentación de los microplásticos expone constantemente nuevas superficies que liberarán continuamente su contenido químico (Toussaint et al., 2019; ACSA, 2019).

A continuación se exponen los principales efectos tóxicos de cada contaminante químico asociado a los plásticos. En primer lugar se comparan los efectos más importantes y comunes de ftalatos y bisfenoles en formato tabla:

- Efectos reproductivos.
- Perturbación endocrina.
- Neurotoxicidad.
- Cardiotoxicidad.
- Carcinogénesis.

Posteriormente se explican otros efectos demostrados y de otros contaminantes ya introducidos en el apartado anterior.

EFECTOS REPRODUCTIVOS (ligado a perturbación endocrina)		
	EXPERIMENTACIÓN	HUMANOS
FTALATOS	<p>RATAS Y RATONES</p> <p>MACHOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Antiandrogénicos. ✓ Disminuyen estrona y estradiol (E2). ✓ Menores zinc seminal, concentración, calidad y movilidad espermáticas. <p>HEMBRAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aceleran la pubertad. ✓ Endometriosis. ✓ Reducción de la esteroidogénesis (E2). ✓ Atresia folicular. ✓ Alteración de la ciclicidad del estro. <p>(Sandeep y Chen, 2018; Badia-Tahull et al., 2018; Martínez-Arguelles y Papadopoulos, 2016)</p>	<p>MUJERES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Endometriosis <p>NEONATOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Disminución de la distancia anogenital en varones y anomalías genitales. <p>(Sandeep y Chen, 2018; Badia-Tahull et al., 2018; Martínez-Arguelles y Papadopoulos, 2016)</p>
BPA	<p>RATAS Y RATONES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Xenoestrógeno. ✓ Antiandrogénico. ✓ Altera conducta sexual y pubertad. ✓ Menores esperma y fertilidad. ✓ Abortos y alteración del ciclo ovárico. <p>(Hafezi y Abdel-Rahman, 2019; de Sá et al., 2018; Inadera, 2015)</p> <p>MONOS VERDES AFRICANOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Antiestrogénico. <p>(de Sá et al., 2018; Caporossi y Papaleo, 2017; Seachrist et al., 2016; Inadera, 2015)</p>	<p>TRABAJADORES EXPUESTOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Problemas de erección, eyaculación y concentración espermática. <p>(Hafezi y Abdel-Rahman, 2019; de Sá et al., 2018; Inadera, 2015)</p>

PERTURBACIÓN ENDOCRINA		
	EXPERIMENTACIÓN	HUMANOS
FTALATOS	<p>RATAS Y RATONES</p> <p>OBESIDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Alteran adipogénesis, metabolismo lipídico y balance energético. <p>TIROIDES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Hiperactividad. ✓ Reducción de T3, T4 y TRH. <p>PEZ CEBRA</p> <p>TIROIDES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Alteran síntesis, regulación y acción. ✓ Inducen tiroglobulina (Tg) y AMPc. ✓ Alteran enzimas hepáticas. <p>(Sandeep y Chen, 2018; Badia-Tahull et al., 2018; de Sá et al., 2018; Martínez-Arguelles y Papadopoulos, 2016; Mathieu-Denocourt et al., 2015).</p>	<p>ADULTOS</p> <p>OBESIDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Altos IMC y circunferencia de cintura. <p>DIABETES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Desequilibrio entre el estrés oxidativo y las defensas antioxidantes. <p>TIROIDES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ T4 libre alterada. <p>(Sandeep y Chen, 2018; Badia-Tahull et al., 2018; de Sá et al., 2018; Martínez-Arguelles y Papadopoulos, 2016; Mathieu-Denocourt et al., 2015).</p>
BPA	<p>RATAS Y RATONES</p> <p>OBESIDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento de peso, más en hembras. <p>TIROIDES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Disminuye T4 en madres y TSH en fetos masculinos. ✓ Déficits neurológicos en descendencia. <p>DESARROLLO</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Altera maduración y desarrollo cerebral e hipotalámico. <p>IN VITRO</p> <p>OBESIDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Disfunción metabólica de los adipocitos e inflamación. <p>(de Sá et al., 2018; Caporossi y Papaleo, 2017; Seachrist et al., 2016; Inadera, 2015)</p>	<p>NIÑOS Y ADULTOS</p> <p>OBESIDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Altos IMC, más en niñas. ✓ Altos niveles de triglicéridos y colesterol. <p>DIABETES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Intolerancia a la glucosa. ✓ Metabolismo alterado en hígado y músculo. <p>(de Sá et al., 2018; Caporossi y Papaleo, 2017; Seachrist et al., 2016; Inadera, 2015)</p>

Debido a su toxicidad, el BPA se ha ido sustituyendo por otras sustancias en la fabricación de plásticos y resinas, pero algunas pueden tener mayor actividad estrogénica que el BPA. Se exponen a continuación (Inadera, 2015).

- BADGE: en ratas y ratones se relaciona con obesidad, diabetes e hiperfagia.
- BPS: en ratas y ratones actúa como xenoestrógeno e influye en el desarrollo hipotalámico. En humanos está demostrado su uso como xenoestrógeno.
- BPAF: en ratas, ratones y humanos actúa como xenoestrógeno, y en animales de laboratorio tiene efectos a nivel nervioso.

NEUROTOXICIDAD		
	EXPERIMENTACIÓN	HUMANOS
FTALATOS	<p>RATAS Y RATONES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Anomalías teratogénicas cerebrales. ✓ Menor densidad neuronal. ✓ Ansiedad y depresión. ✓ Deterioro aprendizaje y memoria. <p>NEMÁTODO <i>Caenorhabditis elegans</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ ROS intracelular. ✓ Disfunción termosensorial. <p>(Sandeep y Chen, 2018; Badia-Tahull et al., 2018)</p>	<p>✗ No encontrado.</p>
BPA	<p>RATAS Y RATONES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento de agresividad y ansiedad. ✓ Deterioro de la memoria. ✓ Alteraciones estructurales, déficits cognitivos y de la capacidad de aprendizaje espacial y afección del sistema neurotransmisor. <p>MONOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ansiedad. <p>(Inadera, 2015)</p>	<p>NIÑOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento de hiperactividad, agresividad, depresión y reactividad emocional. <p>NIÑAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Peor comportamiento. <p>(Inadera, 2015).</p>

CARDIOTOXICIDAD		
	EXPERIMENTACIÓN	HUMANOS
FTALATOS	<p>RATAS Y RATONES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Alteración eléctrica y mecánica. ✓ Isquemia o disfunciones ventriculares. ✓ Disminuyen frecuencia cardiaca y presión arterial hasta el paro cardiaco. <p>IN VITRO ROEDORES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Disminución de la frecuencia cardiaca. <p>(Sandeep y Chen, 2018)</p>	<p>CÉLULAS MADRE HUMANAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ DEHP: cronotrópico e inotrópico negativo. ✓ Disminuye la conectividad intercelular. <p>(Sandeep y Chen, 2018)</p>
BPA	<p>RATAS Y RATONES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento del grosor de la pared ventricular izquierda. <p>(Hafezi y Abdel-Rahman, 2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✗ No encontrado.

CARCINOGENESIS		
	EXPERIMENTACIÓN	HUMANOS
FTALATOS: grupo 2B IARC	<p>RATAS Y RATONES</p> <p>TUMORES TESTICULARES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Frecuencia mutagénica 3 veces superior. <p>TUMORES HEPÁTICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Proliferación de peroxisomas y células, suprime la apoptosis y provoca daño oxidativo del ADN. <p>(Sandeep y Chen, 2018; Badia-Tahull et al., 2018; de Sá et al., 2018)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✗ No encontrado
BPA: Grupo 2-3 IARC	<p>RATAS Y RATONES</p> <p>TUMORES DE MAMA</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Expresión de proteínas antiapoptóticas. ✓ Estimula células tumorales, metástasis y quimiorresistencia. ✓ Induce genes HOXC6 y HOXB9. 	<p>HOMBRES</p> <p>TUMORES PROSTÁTICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Relacionados con niveles elevados de BPA en orina. <p>(Hafezi y Abdel-Rahman,</p>

	<p>TUMORES OVÁRICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Proliferación y migración de células cancerígenas. ✓ Mejoran glucolisis: ATP. ✓ Sobreproducción de colágeno. <p>TUMORES PROSTÁTICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Activa el receptor de andrógenos AR: suficiente para desarrollar cáncer de próstata en animales. ✓ Desarrollo de AR mutantes. <p>En contraste, las altas dosis de BPA son capaces de frenar el avance tumoral.</p> <p>OTROS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cáncer colorrectal, del sistema hematopoyético, hepático y adenocarcinoma de vagina. <p>(Hafezi y Abdel-Rahman, 2019; Seachrist <i>et al.</i>, 2016)</p>	<p>2019; Seachrist <i>et al.</i>, 2016)</p> <p>Según la IARC los efectos carcinogénicos obtenidos en experimentales pueden constituir un riesgo carcinogénico para el ser humano. (Seachrist <i>et al.</i>, 2016)</p>
--	--	---

Con todo esto puede observarse que la exposición a BPA aun a dosis inferiores a los límites máximos permitidos pueden resultar en una mayor proliferación celular y quimiorresistencia.

Estos son los efectos y los contaminantes más estudiados, pero se han descrito otros efectos de ftalatos y bisfenoles. A continuación se explican estos y otros contaminantes ya introducidos.

FTALATOS

Toxicidad renal: el DEHP puede conducir a una nefropatía progresiva crónica en ratones, proliferación de peroxisomas, quistes y una menor función renal. Este efecto se ha comprobado en individuos tratados con diálisis por los ftalatos arrastrados desde el dispositivo médico (Sandee y Chen, 2018).

Toxicidad hepática: en ratones se ha observado hepatomegalia, alteración de las enzimas hepáticas, tumores, disminución de las reservas de glucógeno, aumento de la grasa periportal, y proliferación de peroxisomas. La alteración hepática puede resultar en un aumento de la toxicidad de otras sustancias al alterarse la detoxificación del organismo. En monos y niños se asocia con colestasis (Badia-Tahull *et al.*, 2018; de Sá *et al.*, 2018).

Otros: se ha demostrado que los ftalatos afectan al desarrollo pulmonar al reducir el número de espacios alveolares y la superficie total disponible para el intercambio gaseoso. Cada vez

más estudios los relacionan con asma. A nivel inmunitario inducen la inflamación e inhiben su resolución. En fetos de ratas alteran el desarrollo vascular de la retina. Por último a nivel gastrointestinal se les relaciona con la enterocolitis necrotizante (Badia-Tahull et al., 2018; de Sá et al., 2018).

Se debe tener en cuenta que en el medio ambiente las dosis son menores a las utilizadas en la exposición laboratorial. A pesar de ello los efectos tóxicos de los ftalatos se han demostrado tanto en animales como en humanos (Sandeep y Chen, 2018). El estudio de Karthikraj, Lee y Kannan (2019) midió metabolitos monoéster (PhM) de ftalatos en orina de perros y gatos, encontrándose en todas ellas. Los más frecuentes fueron monoetilo de ftalato (mEP) y ácido ftálico (PA), aunque este último no es un metabolito exclusivo de los ftalatos. En los perros las concentraciones fueron 4 veces menores que en gatos posiblemente debido al débil metabolismo de glucuronidación en los felinos. Fueron hallados en mayores concentraciones que en humanos y se observó que tanto la ingesta diaria (EDI) como el cociente de riesgo (HQ) de ftalatos de alto peso molecular fueron tan solo 2 veces inferiores a la dosis de referencia (RfD) sugerida por la Agencia de Protección Ambiental de EEUU. Esto demuestra la exposición de nuestras mascotas a ftalatos y a niveles incluso mayores que los encontrados en humanos, por lo que sus efectos en animales de compañía podrían ser más graves, sobre todo en gatos.

BPA Y SUSTITUYENTES

El BPA se asocia con inmunotoxicidad y alergias. Se le relaciona con la sensibilización a alérgenos ambientales y alimentarios por la alteración de la tolerancia inmunológica (Hafezi y Abdel-Rahman, 2019; Kimber, 2017). A nivel respiratorio se relaciona con niños con asma y sibilancias y mujeres asmáticas (Kimber, 2017).

COPs

Los COPs reúnen diversas sustancias que se asocian con diferentes efectos toxicológicos. Son compuestos inmunotóxicos, teratogénicos y promotores de tumores (ATSDR, 2002).

El DDT afecta al Sistema Nervioso a elevadas dosis y al hígado a modo de tumores hepáticos. El DDE en embarazadas acorta el periodo de lactancia y aumenta la probabilidad de tener bebés prematuros. Los dos compuestos pueden tener efectos en la reproducción y pueden considerarse cancerígenos. Hay estudios que demuestran que DDT y DDE pueden actuar como perturbadores endocrinos, afectando al desarrollo del reproductor, del nervioso y retrasando la pubertad (ATSDR, 2002).

Los retardantes de llama bromados o BFRs se subdividen en aditivos o reactivos según su lipofilicidad. Los aditivos son más lipofílicos y tienen un metabolismo más lento en el organismo, acumulándose más en la cadena alimentaria y afectando al desarrollo del sistema nervioso, hígado, aparato reproductor y actuando como perturbadores endocrinos. No hay evidencias de que resulten carcinogénicos en personas pero se sabe que dañan el ADN y que los emergentes son genotóxicos y cancerígenos (AESAN, 2017; Inadera, 2015).

Los compuestos perfluorados PFOS y PFOA se relacionan con defectos de nacimiento, abortos y daños metabólicos al tratarse de perturbadores endocrinos. El estudio de Vicente et al. (2012) que encontró PFOS en huevos de gaviota patiamarilla (*Larus michahellis*) tras el estudio de la biometría del huevo concluyó que no afecta al desarrollo del mismo (Vicente et al., 2012).

Respecto a los benzopirenos el estudio de Batel et al. (2018) evaluó el efecto de microplásticos contaminados con BaP. Se expusieron peces a plásticos marcados y se vio la capacidad de adhesión a la capa mucosa de las branquias sin alcanzar altas concentraciones y la acumulación a altas concentraciones en huevo de los de tamaño 1-5 µm. Hubo una clara inducción del CYP 1a (citocromo P450 1 A) tras la exposición pero sin provocar afecciones morfológicas en los embriones.

METALES PESADOS

Los metales pesados producen efectos letales o subletales en animales e incluso en humanos. El metilmercurio se considera el más tóxico al inhibir la síntesis proteica, alterar los microtúbulos renales y originar problemas de neurotransmisión. El Cd está implicado en lesiones prostáticas proliferativas, cáncer de pulmón, fracturas óseas y fallo renal. El Pb afecta al sistema nervioso, reflejado en retraso mental, y produce alteraciones hematopoyéticas. El As inorgánico resulta más letal que el orgánico y por último el Cr tiene efectos cancerígenos (Shafiuddin Ahmed et al., 2019; de Sá et al., 2018).

4. IMPACTO EN LA CADENA TRÓFICA/ALIMENTARIA.

En este apartado se va a desarrollar el problema de la ingestión plástica enfocado tanto a las cadenas tróficas animales como a las que incluyen al ser humano como último eslabón.

INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO A LA CADENA TRÓFICA

La vía de entrada puede establecerse a cualquier nivel de la cadena por ingestión, inhalación o absorción cutánea o branquial. Los animales pueden confundir restos de basura plástica con presas o ingerirlos por accidente durante el pastoreo o la caza de una presa que ya contiene plásticos en su organismo. En los últimos años distintos estudios han detectado microplásticos en una gran variedad de organismos del zooplancton y en especies tanto vertebradas como invertebradas de niveles tróficos superiores.

El estudio de Burkhardt-Holm y N'Guyen (2019) trató de evaluar la cantidad de microplásticos que ingieren las ballenas por transferencia trófica mediante la ingestión de copépodos y peces. Concluyeron que la ingestión varía con la localización geográfica, por ejemplo en el Pacífico Norte el krill y los copépodos muestran bajas tasas de ingestión microplástica pero la familia *Engraulidae* alcanza el 76%. La ingestión de *Scombridae* es la más alta del Mediterráneo con un 71,4%. A esta ingestión de microplásticos a través de las presas se suman los incorporados a través de la filtración de agua. Una ballena minke antártica puede filtrar casi 200 m³/h de agua con microplásticos en cantidad variable (9,67 partículas/m³ en el Mediterráneo o 2,46 partículas/m³ en el noreste del Océano Atlántico) (Burkhardt-Holm y N'Guyen, 2019).

Estudios sobre el tipo de plástico ingerido según la especie marina revelaron que el PS es más denso y se encuentra más disponible para especies bentónicas mientras que el PE tiene menor densidad y está más disponible en la columna de agua y zona pelágica (de Sá *et al.*, 2018).

PLÁSTICO EN ALIMENTACIÓN HUMANA

Se han encontrado microplásticos en 690 especies marinas, 201 de ellas comestibles (Toussaint *et al.*, 2019), y de las 25 especies habituales de pesca marina a nivel mundial, la FAO ha demostrado que 11 de ellas contienen microplásticos en el tracto gastrointestinal, branquias o músculo (Barboza *et al.*, 2018).

En el medio acuático el fitoplancton y el zooplancton forman parte de la base de la pirámide trófica. Cuando el zooplancton se alimenta ingiere microplásticos presentes en el agua junto a sus componentes químicos, incorporándolos en la cadena trófica (*figuras 9 y 10*). Tienen la capacidad de desplazarse en la columna de agua, por lo que pueden ser capturados a distintos niveles, afectando a distintas cadenas (*figura 11*) (Wang *et al.*, 2018; Rojo-Nieto y Montoto, 2017). En piscicultura la principal vía de entrada de microplásticos es a partir de las harinas de

pescado contaminadas por su materia prima de origen (Agència Catalana de Seguretat Alimentària, 2019; Toussaint *et al.*, 2019; Barboza *et al.*, 2018).

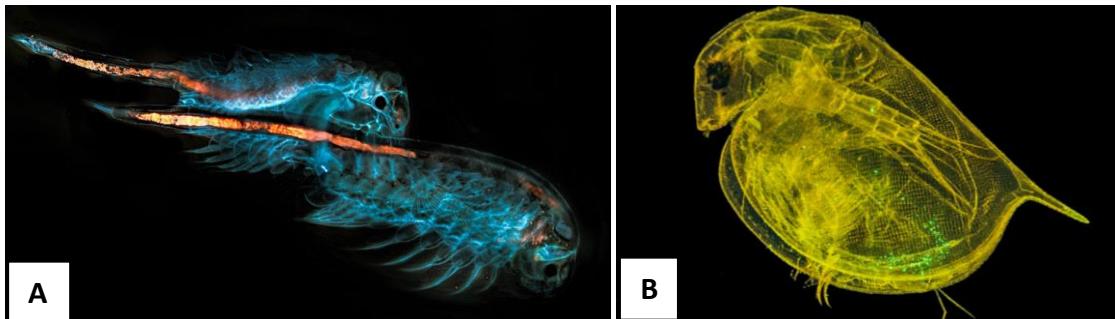


Figura 9: A) Crustáceos marinos del género *Artemia* con microplásticos fluorescentes en su aparato digestivo. B): Pulga de mar con microplásticos ingeridos, Martin Ogonowski y Christoph Schür, Departamento de Ciencias Medioambientales y Química Analítica (ACES) Universidad de Estocolmo (National Geographic, 2020a).

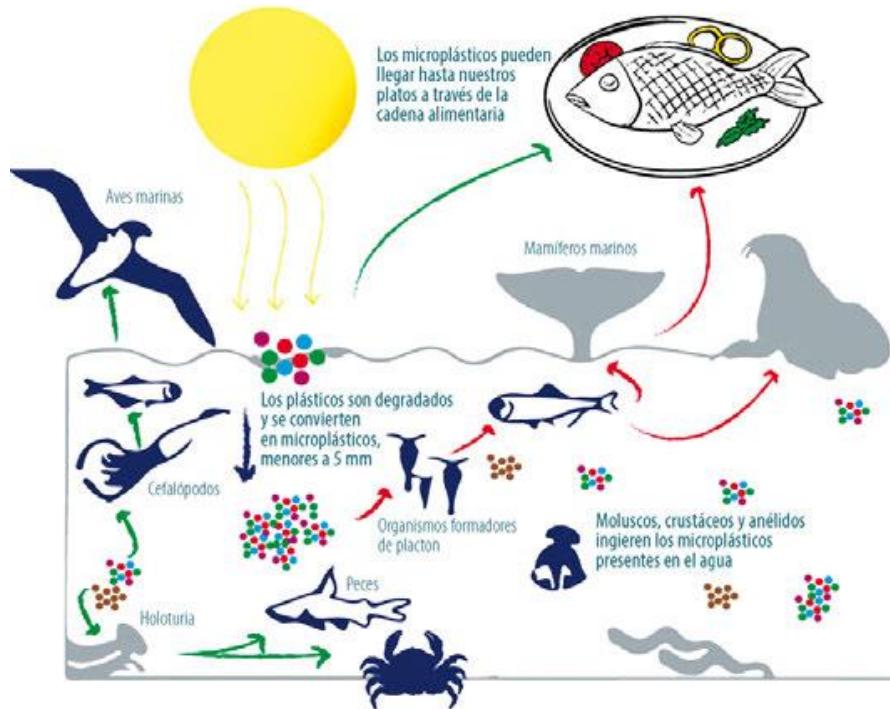


Figura 10: los microplásticos (esferas de colores) son transportados e ingeridos a distintos niveles y alcanzan los productos de pesca ya sea directamente o por transferencia trófica (Rojo-Nietod y Montoto, 2017).

Cuando el animal ingiere partículas plásticas la mayoría se concentra en el tubo digestivo (*figura 11*) y este raramente es consumido por el ser humano, salvo algunas especies

filtradoras como los bivalvos consumidos enteros (Toussaint *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2018). Es el caso de los moluscos como los mejillones, los cuales son organismos filtradores que bioacumulan las sustancias ingeridas (de Sá *et al.*, 2018).



Figura 11: contenido plástico en el digestivo de un pez (*La voz del despertar*, 2019).

Según la ACSA (2019) la exposición a partir del consumo del pescado es probablemente insignificante, sin embargo Toussaint et al. (2019) y Barboza et al. (2018) demostraron la presencia de microplásticos en el tejido muscular de peces y crustáceos, y es que los de menor tamaño se pueden absorber y transferir a los tejidos.

Aquellas partículas de tamaño superior a 150 µm no se absorben al torrente sanguíneo y tan solo producen una reacción local, pero los de menor tamaño pasan al sistema circulatorio y se distribuyen por el organismo. Aquellos con ≤20 µm podrían pasar a órganos y los de tamaño ≤0,1 µm atravesar membranas celulares, la barrera hematoencefálica y la placenta, llegando a cerebro, hígado o músculo (Barboza *et al.*, 2018). Estas medidas varían con las técnicas laboratoriales empleadas. Estudios en mamíferos han detectado micropartículas de hasta 150 µm en la linfa (ACSA, 2019).

En la fauna terrestre, el estudio de Priyanka y Dey (2018) sobre impactaciones ruminales por ingestión de plástico demostró que los materiales plásticos ingeridos liberan las sustancias químicas contenidas al líquido ruminal. Así estas ingresan en la cadena alimentaria con el consumo humano de leche y carne.

Los estudios sobre el grado de absorción de microplásticos que pueden tener los vegetales son escasos pero es probable que al igual que en las células animales los de menor tamaño sean capaces de ingresar en las células vegetales. Se demostró al observar que células de tabaco ingresaban mediante pinocitosis nanoplásticos de PS de tamaño inferior a 100 nm y que

plantas comestibles podían captar y acumular microplásticos de PS de 0,2 µm (Zhu *et al.*, 2019).

Se absorban o no las partículas microplásticas, pueden liberar sustancias químicas que sí son fácilmente absorbidas y transportadas dentro del organismo. El estudio de Zhang *et al.* (2017) reveló que los HAPs de 3 anillos y los compuestos hidrosolubles como el pireno tenían una alta probabilidad de ser absorbidos por plantas de maíz en China. En algunos granos de maíz se encontraron en concentraciones con posibles efectos para la salud. El DDE se ha detectado acumulado en tubérculos, carne y pescado (ATSDR, 2002). Otros estudios han encontrado DEHP en carne y productos lipídicos e informan de que el pan contribuye al 31,4% de la exposición adulta a DEHP (Sandeep y Chen, 2018). Sin embargo hay otros artículos que no consideran esta una grave entrada de tóxicos a la cadena alimentaria (Wang *et al.*, 2018). La EFSA por ejemplo evaluó la presencia de dioxinas y PCBs en alimentos y piensos y estimó que el consumo de mejillones ejerce una exposición pequeña a los contaminantes PCB (aumento <0,006%) y HAP (aumento <0,004%). Respecto al bisfenol A, la EFSA estimó que el proveniente de los microplásticos ingeridos con mejillones representa un 2% de la exposición total de un humano promedio (Toussaint *et al.*, 2019; ACSA, 2019).

Los alimentos no solo pueden contaminarse por bioacumulación en la cadena trófica, pueden cederse partículas desde el aire, los auxiliares tecnológicos, el agua o la maquinaria, pudiendo aumentar la cantidad de microplásticos en el alimento a medida que es tratado (ACSA, 2019; Toussaint *et al.*, 2019).

ALIMENTOS ESTUDIADOS CON CONTENIDO PLÁSTICO

Se ha demostrado la presencia de microplásticos en muchos alimentos, pero los más estudiados son los productos del mar. Se exponen a continuación.

- En el pescado son varios los estudios que demuestran la ingestión de microplásticos. En peces de agua salada, un tercio de los ejemplares muestreados del canal de la Mancha presentaba microplásticos en el tracto digestivo. En el golfo de México y sus afluentes el 8% de los peces de agua dulce y el 10% de los marinos tenían microplásticos en el tubo digestivo. Varios ejemplares comerciales de Portugal presentan partículas en sus estómagos. Estudios en Indonesia encontraron

microplásticos en el 28% de los ejemplares, y en California en el 25 % (ACSA, 2019; Toussaint *et al.*, 2019).

- El mejillón común, *M. edulis*, es un animal filtrador que puede alcanzar concentraciones de 0,2-4 µpartículas/g. Los mejillones salvajes están menos contaminados que los de criadero. Se han encontrado partículas microplásticas en mejillones criados en el mar del Norte y en ostiones (*Crassostrea gigas*) criados en el océano Atlántico. Los mejillones cocidos o procesados pueden estar más contaminados, lo cual evidencia que el tratamiento del marisco no lo excluye de contaminación microplástica ni la rebaja (Toussaint *et al.*, 2019; Garay Crespo, 2019).
- Las muestras analizadas de miel procedente de diversos orígenes contienen fibras y fragmentos plásticos adquiridos durante su producción y procesamiento (ACSA, 2019; Garay Crespo, 2019).
- También se han detectado fibras y fragmentos en muestras comerciales de azúcar. En cuanto a la sal, las de lagos y de roca tienen una abundancia de microplásticos significativamente menor a la encontrada en sal marina, lo cual indica que los productos marinos están más expuestos a los microplásticos. Un 90% de la sal de consumo contiene plásticos, cifra que alcanza el 100% en España (ACSA, 2019; Garay Crespo, 2019).
- Estudios en cerveza alemana revelan la presencia de fibras, fragmentos y gránulos. Su origen podría ser la deposición atmosférica, los materiales utilizados en el proceso de producción, las impurezas de las botellas y las partículas contaminantes de las materias primas (ACSA, 2019; Toussaint *et al.*, 2019; Garay Crespo, 2019; Barboza *et al.*, 2018).

Respecto al agua embotellada hay estudios que demuestran que el 93% de las botellas contienen microplásticos en concentración muy variable debido a las distintas fuentes de agua, instalaciones de embotellado y embalajes. Se han hallado en agua partículas de plástico del envase que la contiene. En el agua de grifo predomina la contaminación por fibras y en el agua embotellada por fragmentos, pero en la embotellada hay casi el doble de microplásticos. Además la concentración de microplásticos en agua embotellada aumenta a medida que lo hace la reutilización del envase plástico (ACSA, 2019; Toussaint *et al.*, 2019; Barboza, 2018).

Una vez en la cadena alimentaria humana estos contaminantes pueden actuar como tóxicos a distintos niveles, tal y como se ha visto anteriormente (Priyanka y Dey, 2018). Con todo esto se puede concluir que la contaminación plástica puede constituir un problema de seguridad alimentaria.

5. PELIGROS BIÓTICOS Y ANTIBIORRESISTENCIAS LIGADOS AL PLÁSTICO

Los materiales plásticos además de poder afectar a la salud por sí mismos y por la toxicidad química pueden dispersar algas nocivas, ejercer de sustrato para la actividad microbiana, fomentar antibiorresistencias y crear nuevos hábitats para la reproducción de vectores (Boelee *et al.*, 2019).

La EFSA indica que los residuos plásticos pueden actuar como sustrato para distintas comunidades microbianas (ACSA, 2019). Los microorganismos se propagan con el movimiento de los microplásticos, algunos de ellos patógenos como *Vibrio spp.*, *E. coli*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Bacillus cereus* y *Aeromonas salmonicida* (Barboza *et al.*, 2018; Rojo-Nieto y Montoto, 2017). Además, en el mar se ha demostrado que estas comunidades que proliferan en los plásticos difieren de las comunidades microbianas de las aguas circundantes (ACSA, 2019). Por lo tanto, los microplásticos pueden aumentar la propagación y el riesgo de enfermedades humanas y animales.

Relacionado con la microbiota destaca la preocupación por la diseminación de antibiorresistencias. Hay estudios en ecosistemas acuáticos que revelan que los microplásticos constituyen una superficie adicional para el intercambio de genes y estudios en suelo que demuestran que los microplásticos de PS aumentan el tiempo de retención de antibióticos y como consecuencia genes de resistencia antimicrobiana (Zhu *et al.*, 2019). Por ejemplo el PVC junto al antibiótico *triclosán* provocaron una mayor mortalidad en el gusano *A. marina* y neurotoxicidad y cambios enzimáticos en el pez *P. microps* en el estudio de Sá *et al.* (2018).

En referencia a los vectores, los recipientes plásticos pueden acumular agua y permitir que insectos como mosquitos realicen su puesta y se protejan de depredadores. Por lo tanto, los plásticos también pueden contribuir a la dispersión de enfermedades vectoriales (Boelee *et al.*, 2019).

6. LEGISLACIÓN

Para valorar la regulación del problema se ha buscado legislación europea y nacional. Los materiales plásticos y sus aditivos están regulados por ley, especialmente aquellos destinados a bebés o a contener alimentos. Aun así no hay ninguna prohibición de su uso a pesar de los efectos descritos en esta revisión, salvo en ciertos rangos de edad. Vemos algunos ejemplos.

- Real Decreto 866/2008, de 23 de mayo, por el que se aprueba la lista de sustancias permitidas para la fabricación de materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con los alimentos y se regulan determinadas condiciones de ensayo. En él figura que no deberán ceder sus componentes en cantidades que excedan de 60 mg/kg.
- Reglamento (UE) 2018/213 de la Comisión, de 12 de febrero de 2018, sobre el uso de bisfenol A en los barnices y revestimientos destinados a entrar en contacto con los alimentos y por el que se modifica el Reglamento (UE) nº 10/2011 por lo que respecta la uso de dicha sustancia en materiales plásticos en contacto con los alimentos. Establece que la migración no superará un límite de migración específica de 0,05 mg/kg de alimento. En ningún caso la migración está permitida en productos para lactantes o niños de corta edad. Esto se aplica desde el 6 de septiembre de 2018, pero los materiales plásticos introducidos en el mercado antes de esta fecha podrán mantenerse hasta fin de existencias.
- Además para reducir el uso de plástico se elaboró la Directiva (UE) 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo, del 5 de junio de 2019, relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente. Esta prohíbe la entrada en mercado de ciertos plásticos de un solo uso, limita otros, establece el porcentaje de PET reciclado que deben constituir las botellas y obliga a informar al consumidor sobre su impacto y modo de reciclado. Todos estos artículos deben cumplirse en fechas variables hasta 2024.

CONCLUSIONES

No hay duda de que la contaminación plástica ejerce un gran impacto medioambiental y en la biodiversidad. Sin embargo, su impacto en la salud humana y animal está relegado a las escasas investigaciones en animales de experimentación. Los resultados demostrados, como la alteración del desarrollo sexual y la reducción de la fertilidad, se pueden extrapolar al resto de animales y al ser humano pero se debe tener en cuenta la variabilidad inter e intraespecie. Es por ello que los efectos toxicológicos necesitan más investigación, dado que gran parte de las patologías tratadas en la clínica veterinaria pueden estar relacionadas con los efectos toxicológicos derivados del plástico, como el aumento de la incidencia de problemas reproductivos, hormonales y tumorales. De la misma forma pueden asociarse a patología

humana debido a la extensión del problema a la cadena alimentaria y al uso indiscriminado de plásticos. En explotaciones ganaderas pueden causar pérdidas económicas por menor rendimiento productivo. El conocimiento es la base para elaborar una nueva legislación acorde con los resultados científicos y para lograr concienciar a la población del problema global del que se trata, y para ello deben estandarizarse definiciones y métodos laboratoriales. De la misma forma debe ampliarse la investigación a entornos terrestres, ya que la mayoría se centran en el mar. Así mismo deben examinarse posibles soluciones al impacto ya generado como el uso de microorganismos descomponedores, quizás claves en un futuro próximo.

CONCLUSIONS

There is no doubt that plastic pollution produces a great impact on the environment and biodiversity. However, its impact on human and animal health is relegated to the limited research on laboratory animals. The demonstrated results, such as the alteration of sexual development and the reduction of fertility, can be extrapolated to other animals and humans, but inter and intraspecies variability must be taken into account. Because of this, further toxicological investigation is needed, due to the fact that a large part of the pathologies treated in the veterinary clinic may be related to the toxicological effects derived from plastic, such as the increased incidence of reproductive, hormonal and tumor problems. In the same way, they can be associated with human pathology due to the extension of the problem to the food chain and the indiscriminate use of plastics. In farms they can cause economic losses due to lower productivity. Knowledge is the base for drafting new legislation in accordance with scientific results and for making the population aware of the global problem in question, and for this, definitions and laboratory methods must be standardized. In the same way, research should be extended to terrestrial ecosystems, because the majority are focused on the sea. Likewise, possible solutions to the impact already generated should be examined, such as the use of decomposing microorganisms, perhaps key in the near future.

VALORACIÓN PERSONAL

En los últimos años la contaminación plástica ha generado un debate social que cada vez gana más peso, pero es prácticamente ignorada en el ámbito veterinario. Decidí realizar esta revisión bibliográfica para conocer la realidad y visibilizar los efectos negativos demostrados

que tiene el uso indiscriminado del plástico, principalmente en la salud animal y la transferencia trófica al ser humano. Tras todo este trabajo he descubierto que es un campo de estudio enorme y poco investigado, pero con evidencias científicas de que puede dañar la salud animal y humana mediante diferentes vías. Es por ello que considero esencial la profundización de las investigaciones para conocer la situación real y así afrontar el problema de raíz mediante legislación y concienciación.

BIBLIOGRAFÍA

Agència Catalana de Seguretat Alimentària (2019). *Microplásticos y nanoplásticos en la cadena Microplàstics i nanoplàstics en la cadena alimentaria. Situació actual, Informe aprobado por el Comité Científico Asesor de Seguridad Alimentaria en Noviembre de 2019.* Disponible en: http://acsagencat.cat/web/content_Publicacions/Informestecnics/comite_cientific_assessor/publis/nanoplastics/InformeCCA-micro_nanoplastics_05112019ac.pdf [Consultado 20-04-2020]

Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (2017). Informe sobre microplásticos y nanoplásticos. Disponible en: http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/ampliacion/microplasticos_nanoplasticos.htm [Consultado 20-04-2020]

Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (2017). *Preguntas y respuestas sobre BFRs.* Disponible en: http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/gestion_rriesgos/Ficha_FAQs_BFRs.pdf [Consultado 20-04-2020]

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2002). *ToxFAQs- DDE, DDT and DDD.* Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts35.html [Consultado 15-04-2020].

Badia-Tahull, M-B. et al. (2018). 'Disruptores endocrinos en alimentación artificial'. *Arán. Nutr Hosp* 35(2), pp. 469-473. DOI: 10.20960/nh.1833. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112018000200469 [Consultado 20-04-2020].

Barboza, L. G. et al. (2018) 'Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, pp. 336–348. DOI:

10.1016/j.marpolbul.2018.05.047.

Batel, A. et al. (2018) 'Microplastic accumulation patterns and transfer of benzo[a]pyrene to adult zebrafish (*Danio rerio*) gills and zebrafish embryos', *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd, 235, pp. 918–930. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.01.028.

Boelle, E. et al. (2019) 'Water and health: From environmental pressures to integrated responses', *Acta Tropica*. Elsevier B.V., pp. 217–226. DOI: 10.1016/j.actatropica.2019.03.011.

Burkhardt-Holm, P. y N'Guyen, A. (2019) 'Ingestion of microplastics by fish and other prey organisms of cetaceans, exemplified for two large baleen whale species', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier, 144(April), pp. 224–234. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.04.068.

Caporossi, L. y Papaleo, B. (2017) 'Bisphenol A and metabolic diseases: Challenges for occupational medicine', *International Journal of Environmental Research and Public Health*. MDPI AG. DOI: 10.3390/ijerph14090959.

de Sá, L. C. et al. (2018) 'Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: What do we know and where should we focus our efforts in the future?', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., pp. 1029–1039. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.207.

Directiva (UE) 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo, del 5 de junio de 2019, relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente. Publicado en: DOUE, núm. 155, de 12 de Junio de 2019, páginas 1 a 19 (19 págs.). Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2019-81016> [Consultado 5-09-2020].

Elika (2019) *Reevaluada la seguridad de los ftalatos en materiales plásticos en contacto con alimentos*, 17 Diciembre. Disponible en: <https://foodsafetyapp.blogspot.com/2019/12/reevaluada-la-seguridad-de-los-ftalatos.html> [Consultado 15-04-2020]

Garay, C. (2019) *El plástico supone el 95% de los residuos del Mediterráneo*, National Geographic. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/05/el-plastico-supone-el-95-de-los-residuos-del-mar-mediterraneo> [Consultado 20-02-2020]

Gupta, R. C. (2012) *Veterinary Toxicology, Basic and Clinical Principles*, 2nd edition.

Hafezi, S. A. y Abdel-Rahman, W. M. (2019) 'The Endocrine Disruptor Bisphenol A (BPA) Exerts a Wide Range of Effects in Carcinogenesis and Response to Therapy', *Current Molecular Pharmacology*. Bentham Science Publishers Ltd., 12(3), pp. 230–238.

DOI:10.2174/1874467212666190306164507.

Inadera, H. (2015) 'Neurological effects of bisphenol A and its analogues', *International Journal of Medical Sciences*. Ivspring International Publisher, pp. 926–936. DOI: 10.7150/ijms.13267.

INOQUOS (2018). Siete tipos de plástico y lo que debes saber sobre ellos. Disponible en: <http://www.inoquos.com/blog/2018/01/siete-tipos-de-plastico-y-lo-que-debes-saber-sobre-ellos> [Consultado 19-02-2020]

Isosaari, P. et al. (2006) 'Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, biphenyls, naphthalenes and polybrominated diphenyl ethers in the edible fish caught from the Baltic Sea and lakes in Finland', *Environmental Pollution*. Elsevier, 141(2), pp. 213–225. DOI: 10.1016/j.envpol.2005.08.055.

Jagiello, Z. et al. (2019) 'Life in a polluted world: A global review of anthropogenic materials in bird nests', *Environmental Pollution*, 251, pp. 717–722. doi: 10.1016/j.envpol.2019.05.028.

Karthikraj, R., Lee, S. y Kannan, K. (2019) 'Urinary concentrations and distribution profiles of 21 phthalate metabolites in pet cats and dogs', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 690, pp. 70–75. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.522.

Kimber, I. (2017) 'Bisphenol A and immunotoxic potential: A commentary', *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. Academic Press Inc., pp. 358–363. DOI: 10.1016/j.yrtph.2017.08.022.

La Voz del Despertar (2019) 'Nuevo estudio sobre la isla de basura afirma que ya es más grande que 3 países juntos' *La Voz del Despertar*. [Blog]. 4 de Marzo. Disponible en <https://www.lavozdeldespertar.com/?p=2388> [Consultado 30-06-2020]

Mahadappa, P. et al. (2020) 'Effect of plastic foreign body impaction on rumen function and heavy metal concentrations in various body fluids and tissues of buffaloes', *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Academic Press, 189. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.109972.

Martínez-Arguelles, D. B. y Papadopoulos, V. (2016). 'Prenatal phthalate exposure: epigenetic changes leading to lifelong impact on steroid formation', *Andrology*. Blackwell Publishing Ltd, 4(4), pp. 573-584. DOI: 10.1111/andr.12175.

Mathieu-Denoncourt, J. et al. (2015). 'Plasticer endocrine disruption: highlighting developmental and reproductive effects in mammals and non-mammals aquatic species', *General and Comparative Endocrinology*. Elsevier Inc, 219, pp. 74-88. DOI: 10.1016/j.ygcen.2014.11.003

Müller, C., Townsend, K. y Matschullat, J. (2012) 'Experimental degradation of polymer shopping bags (standard and degradable plastic, and biodegradable) in the gastrointestinal fluids of sea turtles', *Science of the Total Environment*. Sci Total Environ, 416, pp. 464–467. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.10.069.

National Geographic (2020). *Planeta o plástico*. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com.es/temas/planeta-o-plastico/fotos/1/2> [Consultado 30-6-2020].

National Geographic (26 Junio 2020). 'Estos gusanos comen... ¡plástico!' *Planeta o plástico*. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/estos-gusanos-comenplastico_15580. [Consultado 30-06-2020]

Parera, J. et al. (2013) 'Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, biphenyls, paraffins and polybrominated diphenyl ethers in marine fish species from Ebro River Delta (Spain)', *Chemosphere*. Pergamon, 93(3), pp. 499–505. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.06.022.

PlasticsEurope (2018) 'Plastics – the Facts', *Plastics – the Facts 2018*, p. 38. Disponible en: https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf [Consultado 15-04-2020]

Priyanka, M. y Dey, S. (2018) 'Ruminal impaction due to plastic materials-An increasing threat to ruminants and its impact on human health in developing countries', *Veterinary World*. Veterinary World, 11(9), pp. 1307–1315. DOI: 10.14202/vetworld.2018.1307-1315.

Real Decreto 866/2008, de 23 de mayo, por el que se aprueba la lista de sustancias permitidas para la fabricación de materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con los alimentos y se regulan determinadas condiciones de ensayo. Boletín Oficial del Estado nº 131, de 30 de mayo de 2008, pp. 25070-25120. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2008/05/23/866> [Consultado 5-09-2020].

Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (2017). *Hexaclorociclohexano*. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/Hexaclorociclohexano-HCH,15631,11,2007.html> [Consultado 15-04-2020].

Reglamento (UE) 2018/213 de la Comisión, de 12 de febrero de 2018, sobre el uso de bisfenol A en los barnices y revestimientos destinados a entrar en contacto con los alimentos y por el que se modifica el Reglamento (UE) nº 10/2011 por lo que respecta al uso de dicha sustancia en materiales plásticos en contacto con los alimentos. DOUE nº. 41, de 14 de febrero de 2018, pp. 6-

12. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2018-80259> [Consultado 5-09-2020].

Rojo-Nieto, E. y Montoto, T. (2017). *Basuras marinas , plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global, Ecologistas en Acción.* DOI: 10.1016/j.bone.2013.01.004.

Sandeep, S. y Chen, J. (2018) 'Toxic Effects of Di-2-ethylhexyl Phthalate: An Overview', *BioMed Research International*. Hindawi Limited, 2018. DOI: 10.1155/2018/1750368.

Seachrist, D. D. et al. (2016) 'A review of the carcinogenic potential of bisphenol A', *Reproductive Toxicology*. Elsevier Inc., pp. 167–182. DOI: 10.1016/j.reprotox.2015.09.006.

Shafiuddin Ahmed, A. S. et al. (2019) 'Bioaccumulation of heavy metals in some commercially important fishes from a tropical river estuary suggests higher potential health risk in children than adults', *PLoS ONE*. Public Library of Science, 14(10). DOI: 10.1371/journal.pone.0219336.

Toussaint, B. et al. (2019) 'Review of micro- and nanoplastic contamination in the food chain', *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. Taylor & Francis, 36(5), pp. 639–673. DOI: 10.1080/19440049.2019.1583381.

Vicente, J. et al. (2012) 'Distribution of perfluorinated compounds in Yellow-legged gull eggs (*Larus michahellis*) from the Iberian Peninsula', *Science of the Total Environment*. Elsevier, 416, pp. 468–475. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.11.085.

Wang, F. et al. (2018) 'Interaction of toxic chemicals with microplastics: A critical review', *Water Research*. Elsevier Ltd, 139, pp. 208–219. DOI: 10.1016/j.watres.2018.04.003.

Zhang, S. et al. (2017) 'Uptake and translocation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heavy metals by maize from soil irrigated with wastewater', *Scientific Reports*. Nature Publishing Group, 7(1). DOI: 10.1038/s41598-017-12437-w.

Zhu, F. et al. (2019) 'Occurrence and Ecological Impacts of Microplastics in Soil Systems: A Review', *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. Springer US, 102(6), pp. 741–749. DOI: 10.1007/s00128-019-02623-z.