



Universidad de Oviedo

Universidad de Oviedo

Trabajo Fin de Grado

Grado en Enfermería

Revisión exploratoria de la presencia de microplásticos en bebidas de consumo humano: ¿un potencial problema de salud a gran escala?

Rebeca Rodríguez González

27 de abril de 2021

Trabajo Fin de Grado



Universidad de Oviedo

ANA FERNÁNDEZ SOMOANO, Doctora en Investigación en Medicina por la Universidad de Oviedo, Profesora Ayudante Doctora de la Universidad de Oviedo, perteneciente al Área de Medicina Preventiva y Salud Pública del Departamento de Medicina.

CERTIFICA:

Que el Trabajo Fin de Grado presentado por D/Dña. REBECA RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, titulado “Revisión exploratoria de la presencia de microplásticos en bebidas de consumo humano: ¿un potencial problema de salud a gran escala?”, realizado bajo la dirección de Dña. Ana Fernández Somoano, reúne a mi juicio las condiciones necesarias para ser admitido como Trabajo Fin de Grado de Enfermería

Y para que así conste dónde convenga, firman la presente certificación en Oviedo a 27 de abril de 2021.

Fdo. ANA FERNÁNDEZ SOMOANO

Directora/Tutora del Proyecto

GLOSARIO

BPA: Bisfenol A

CIEL: Center for International Environmental Law

COP: Contaminantes orgánicos persistentes

ECHA: Comisión Europea y la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas químicas

EFSA: Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

GESAMP: Grupo Mixto de Expertos sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino

IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer

JECFA: Comité Mixto de Expertos en Aditivos Alimentarios de la FAO y la OMS

MPs: Microplásticos

OMS: Organización Mundial de la Salud

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PA: Poliamida

PAH: Hidrocarburos poliaromáticos

PBDE: Éteres de difenilo polibromados

PBT: Sustancias tóxicas bioacumulativas persistentes

PC: Policarbonato

PCP: Productos de cuidado personal

PE: Poliestireno

PES: Polietersulfona

PET: Tereftalato de polietileno

PMMA: Polimetacrilato de metilo

PP: Polipropileno

PS: Poliestireno

PSU: Polisulfona

PU: Poliuretano

PVC: Cloruro de polivinilo

ÍNDICE

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	22
MATERIAL Y MÉTODOS	22
Identificación de la pregunta de investigación	22
Búsqueda e identificación de estudios relevantes.....	22
Selección de estudios basados en criterios de inclusión y exclusión.....	23
Recopilación, resumen e informe sistemáticamente los resultados	27
RESULTADOS	29
Presencia de microplásticos en bebidas de consumo humano	29
Agua embotellada, de grifo y procedente de fuentes potables de uso público	29
Cerveza.....	33
Leche	35
Vino	36
Té, bebidas carbonatadas y bebidas energéticas	37
Potenciales riesgos para la salud humana	38
Exposición a partículas tóxicas absorbidas por los microplásticos	39
Translocación a diferentes sistemas	42
Posibles efectos in vitro e in vivo	45
Posibles interacciones con el sistema inmunológico y eliminación en el organismo	46
Posible transferencia trófica y presencia de microorganismos en superficies plásticas	48
Políticas vigentes y situación normativa actual	49
DISCUSIÓN.....	53
Limitaciones y fortalezas.....	54
Futuras líneas de investigación	55
Promoción de la salud.....	56
CONCLUSIONES Y COMENTARIOS DE INTERÉS PARA LA PRÁCTICA CLÍNICA	58
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXOS	69

RESUMEN

Se denominan microplásticos (MPs) a las partículas poliméricas de un tamaño inferior a 5 milímetros que actualmente forman parte del medioambiente debido a la contaminación plástica. El ser humano se encuentra expuesto a ellos a través de diferentes vías: inhalatoria, ingestión y dérmica o por contacto. En esta revisión bibliográfica exploratoria se reflejan las bebidas de consumo humano donde se han hallado MPs: agua (embotellada, de grifo y procedente de fuentes potables de uso público), cerveza, leche, vino, té, refrescos y bebidas energéticas. Además, se recopilan datos acerca de los posibles riesgos que pueden suponer para la salud debido a la exposición a partículas tóxicas absorbidas por los microplásticos, su poder de translocación a los diferentes sistemas y su transferencia trófica. Esta última información ha sido obtenida a través de estudios in vitro e in vivo centrados principalmente en ratones y células humanas. Se concluye finalmente que es necesario el establecimiento de normativas que incluyan competencias acerca de la regulación de MPs, una metodología validada y estandarizada para analizar correctamente la cantidad de microplásticos hallada en bebidas y una mayor cantidad de estudios orientados a los posibles problemas que pueden ocasionar en la salud humana.

Palabras clave: microplásticos, plásticos, riesgo para la salud, alimentos, bebidas, dieta.

ABSTRACT

Microplastics (MPs) are polymeric particles, smaller than 5mm in size, that are currently part of the environment due to plastic pollution. Humans are exposed to them through different routes: inhalation, ingestion, or dermal contact. This review exposes the various ways that humans have unintentionally consumed MPs through: water (bottled water, tap water and drinking water fountain), beer, milk, wine, tea, soft drinks, and energy drinks. Data has been collected on the potential health risks that may arise from exposure to toxic particles absorbed by microplastics and their potential trophic transfer. Recent information has been obtained through in vitro and in vivo studies focused mainly on mice and human cells. As a result, it is necessary to establish regulations of MPs as validated and standardized methodologies to analyze the number of microplastics found in beverages. This could lead to more important studies on the potential health problems that MPs create in humans.

Keywords: microplastics, plastics, health risk, food, beverages, diet.

INTRODUCCIÓN

Los microplásticos (MPs) se han convertido en una amenaza para el medioambiente por ser considerados un contaminante emergente. Per se la literatura descrita por entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS) sopesa la posibilidad de que también conlleve riesgos para la salud humana.

Se consideran microplásticos a las pequeñas fibras o partículas de polímeros derivados del petróleo cuyo diámetro no supera los 5 milímetros. Se ha adoptado esta medida como punto de referencia por ser el tamaño de MPs que muchas especies acuáticas son capaces de ingerir. Por tanto, el término “microplástico” comprende las partículas de entre 0,1 μm a 5000 μm (1) y los “nanoplásticos” al material de un tamaño de 0,001 μm a 0,1 μm (2). Estas partículas tienen como principales características su insolubilidad en agua y su baja degradabilidad.

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas que tienen lugar por la reacción de monómeros. Dicha reacción da lugar a largas cadenas y estructuras macromoleculares conocidas como polímeros. Alguno de ellos, como el nylon se originan a partir de otro tipo de reacción como es la condensación. El plástico se origina en 1860 pero su producción no se dispara hasta la década de 1940. A partir de ese momento, el crecimiento de los plásticos fue en torno a un 8,7 % anual partiendo desde 1,7 millones de toneladas hasta casi 300 millones de toneladas en la actualidad. Según el Plastic Europe Market Research Group (PEMRG), en 2017, la producción de plástico en el mundo fue de 348 millones de toneladas, atribuyendo 64,4 millones de toneladas a Europa y el 50,1% a Asia (3). La creciente conciencia acerca de la contaminación plástica en el medio a nivel global ha provocado un mayor estudio de esta. Concretamente, en relación con los MPs, se referencia su existencia en el mar por primera vez en 1972 en un artículo llamado “Plastics on the Sargasso Sea surface” (4). Conjuntamente, unos años más tarde, se editaron una serie de artículos que confirmaron su presencia en algunas aves pertenecientes a la década anterior a la fecha de publicación de dichos estudios (5). En 2011, Estados Unidos publicó un artículo que

afirmaba un consumo anual de 200 toneladas de microperlas en productos de cuidado personal (6). Asimismo, sostenía que, de todas estas partículas, en torno a la mitad acabarían en el océano a pesar de haber sometido a tratamiento las aguas residuales (6).

Focalizando nuevamente en los MPs, su origen puede ser primario o secundario. Los MPs primarios son partículas de plásticos de menos de 5mm que incluyen (7):

1. Pellets de resina de preproducción. Suelen tener un tamaño de 3-5 mm y se emplean como materia prima en la fabricación de plásticos. Su destino final es formar parte del entorno a causa de su pérdida accidental durante el transporte o por corrientes de agua de lluvia. Cuando dichas corrientes circulan sobre la superficie terrestre al rebasarse un depósito natural o superficial se conoce como escorrentía.
2. Microperlas incorporadas en productos cosméticos. Estas resinas se patentaron en 1980 bajo el nombre de “microbeads” o “micro-exfoliates”. Se forman a partir de poliestireno (PE), polipropileno (PP), polimetilmetacrilato (PMMA), tereftalato de polietileno (PET) y nylon (8). Van a transferirse al medioambiente a través de aguas residuales.
3. Perlas utilizadas para el pulido abrasivo de superficies. Utilizadas en el pulido con chorro de arena. También accederán al entorno a través de las aguas residuales y la atmósfera.

Cuando las partículas son demasiado pequeñas y se filtran a pesar del tratamiento de aguas residuales, pueden pasar al medio marino directamente (incluido fondo marino) o a través de corrientes de agua dulce (9). La mayoría de las partículas que ingresan lo hacen en forma de microperlas (<1 mm).

Los microplásticos secundarios, que tienen una presencia en el medioambiente más notable que los primarios, son el resultado de la fragmentación y la meteorización de macroplásticos a través de procesos, biológicos, químicos y fotolíticos. Se pueden generar por el uso de productos plásticos como textiles, redes de nylon desechadas por la industria pesquera, el vertido de basura en el mar, los neumáticos o a partir de los plásticos cuyo destino haya sido el

medioambiente (materiales de embalaje, fragmentación de fibras textiles, pinturas, grana empleada para la producción de macrolásticos, etc.). Como se mencionaba anteriormente, pueden acceder a este a través de las aguas residuales tras su tratado, el lavado, la erosión de plásticos con aplicaciones agrícolas por medio de la escorrentía, la fragmentación de plásticos por exposición a luz ultravioleta, la abrasión de los neumáticos y la meteorización de la basura plástica en el medio ambiente (costas, playas, etc.). Los grandes agentes ambientales que se relacionan con la generación secundaria de MPs son la temperatura, la abrasión y la exposición a la luz ultravioleta (7). Asimismo, otra fuente de contaminación microplástica que debería ser considerada es el envasado y procesamiento de alimentos (10). En el caso del medioambiente marino, se cree que agentes ambientales como la menor exposición de UV y el descenso de la temperatura, podrían producir una mayor ralentización de la degradación de MPs (11).

Esta clasificación resulta útil porque ayuda a identificar las fuentes potenciales de MPs y a establecer medidas para reducir su contribución a la contaminación ambiental. Consecuentemente con dichas determinaciones la presencia de estos en bebidas de consumo humano podría reducirse. Por otro lado, los MPs se pueden agrupar morfológicamente (fragmentos, películas, fibras, granos, espumas y pellets), por color y por tamaño. Este último va a dictaminar su posible ingestión por los diferentes organismos (7).

Finalmente, el destino de los MPs primarios y secundarios es común puesto que estos últimos también pueden transferirse entre ambientes (incluyendo aquí el agua potable, apta para el consumo humano). Una característica que va a determinar la disposición de los microplásticos en la columna de agua es la densidad del polímero y diversas propiedades del agua (Tabla 1: Densidades y aplicaciones comunes de los plásticos que se hallan en el medio marino). Se cree que los MPs de baja densidad pueden recorrer grandes distancias gracias a las corrientes de agua y la fuerza del viento, que provoca su desplazamiento dicha columna (7). A su vez, esta

propiedad del polímero puede verse influenciada por la bioincrustación o rafting en su superficie (biopelícula microscópica) y provocar su hundimiento en el fondo marino (6, 7).

Tabla 1: Densidades y aplicaciones comunes de los plásticos que se hallan en el medio marino

Tipo de resina	Aplicaciones comunes	Densidad específica
Poliétileno (PE)	Bolsas de plástico y contenedores de almacenamiento	0,91-0,95
Polipropileno (PP)	Cuerda, tapas de botellas, engranajes y flejes	0,90-0,92
Poliestireno (expandido) (PS)	Cajas frías, flotadores y tazas	0,01-1,05
Poliestireno	Utensilios y contenedores	1,04-1,09
Cloruro de polivinilo (PVC)	Película, tubería, contenedores	1,16-1,30
Poliamida o Nailon	Redes de pesca, cuerda	1,13-1,15
Tereftalato de etileno (PET)	Botellas y flejes	1,34-1,39
Resina de poliéster + fibra de vidrio	Textiles y botes	>1,35
Acetato de celulosa	Filtros de cigarrillos	1,22-1,24

Elaboración propia a partir de los datos de Lusher AL (2017) (7)

Por otro lado, se valoran como vías de exposición a MPs la exposición atmosférica, la ingestión a través de consumibles como bebidas, sal, azúcar etc., y dérmica o por contacto.

La última vía de exposición mencionada se ha considerado en algunos estudios, aunque se cree que supone un factor menos relevante (12). Se postula que partículas de un tamaño superior a 100 nm no se absorben a través de la piel, pero los nanoplasticos es posible que tengan esta capacidad. Suele asociarse con la exposición a monómeros y aditivos de los plásticos (como el bisfenol A y los ftalatos) (13). Dicha ruta fue evaluada por la presencia de microplásticos y microperlas en productos de cuidado personal (PCP) como la pasta de dientes, exfoliantes faciales, limpiadores de manos, etc., por entidades como el Instituto Federal de Evaluación de Riesgos (BfR) de Alemania. Dicha institución los asociaba con un daño cutáneo como consecuencia de la inflamación local y la citotoxicidad (12). Paralelamente, se ha contemplado que la presencia de nanopartículas de plástico podría tener un efecto sinérgico con los

parabenos referente a un aumento de la proliferación de células de cáncer de mama sensibles a estrógenos (14). Los plásticos que suelen formar parte de PCP son principalmente termoplásticos y siliconas. Tienen diferentes usos como reguladores de viscosidad, exfoliantes... (12, 14). Aun así, los conocimientos que se tienen acerca de esta vía de exposición son escasos.

Otra ruta por la que los contaminantes entran en contacto con el cuerpo es a través del aire. Se cree que los MPs en el aire pueden proceder de materiales empleados en edificios, incineración de residuos, resuspensión de partículas, fertilizantes, ropa y textiles sintéticos, secadoras, polvo del desgaste de neumáticos..., etc. (11, 12, 17). A pesar de que las investigaciones en relación con la lluvia radiactiva de microplásticos estén emergiendo, algunos estudios realizados en países como París, Francia y China han confirmado la presencia de estas partículas, especialmente fibras (11). Se ha estimado que únicamente a través de la inhalación, la cantidad de MPs en el aire inspirado puede estar en un rango de 26 a 130 MPs/día, aunque estas cifras se ven influidas por la metodología de muestreo que se emplee y otros aspectos como los hábitos de limpieza, las actividades de exposición, el tipo de mobiliario y la ubicación (15, 16). Por ende, otro estudio realizado en 2019 empleó un maniquí para simular el cuerpo humano. Dichos investigadores determinaron que una persona con una actividad ligera podría inhalar unos 272 microplásticos/día (13).

La información que tenemos hasta ahora sobre las concentraciones de microplásticos en el aire, es escasa. Se realizaron dos investigaciones en París. La primera evaluó los microplásticos en aire exterior mediante un embudo de acero inoxidable conectado a un vaso. Con este método se manejaron concentraciones de 118 microplásticos/m²/día (pudiendo variar por los cambios climáticos y la metodología empleada). El segundo analizó el aire del interior, registrando de 0.4 a 59,5 partículas/m³ (17). Otro estudio referenciado en una reciente revisión de alcance determinaba que las concentraciones de MPs inhalables eran de 0,3-1,5 partículas/m³ en exterior y de 0,4 a 56,5 partículas/m³ en interior (12).

Por otro lado, el destino y distribución de los microplásticos dependerá de (17):

1. El gradiente de concentración de contaminación vertical: Las concentraciones más altas tendrán lugar más cerca del suelo.
2. La velocidad del viento: Al aumentar disminuye la concentración.
3. La dirección del viento.
4. La precipitación de materiales mayores de 2,5 mm.
5. La temperatura: Las más bajas aumentan la nucleación y condensación.

La exposición humana a MPs atmosféricos se ve alterada también por factores meteorológicos y geográficos. Se cree que hay mayor concentración de microplásticos en interiores que en exteriores (en este último se encuentran diluidos) por lo que se debe mantener una correcta ventilación para garantizar el intercambio del aire (17). La inhalación de microplásticos puede resultar significativa debido a que dichas partículas podrían entrar en contacto con tejido epitelial, llegar al torrente sanguíneo y por consiguiente a los tejidos (7). La entidad de CIEL referenció un estudio en relación con nanofármacos pulmonares que afirma que, nanopartículas de 4 nm, 8 nm, 12 nm y 16 nm pueden llegar a penetrar el tejido pulmonar (11). Otras investigaciones documentan los posibles impactos de algunos polímeros como el polietileno (PE), poliestireno (PS), polimetacrilato de metilo (PMMA) y partículas de policarbonato (PC). Algunos de ellos tienen lugar a nivel celular como son el estrés oxidativo, la proliferación y necrosis celular, los cambios tanto en la concentración de iones como en la expresión genética o las lesiones en órganos (incluyendo laceraciones e inflamaciones) (7). Se considera que la inhalación de MPs puede ser más perjudicial para los trabajadores de ciertas industrias textiles o fábricas encargadas de la producción de policloruro de vinilo (PVC). Hay informes que consideran que, por inhalación, los trabajadores textiles podrían captar y absorber fibras sintéticas que relacionan con cáncer colorrectal y hepático (17).

Por último, se sugiere que la ingestión de alimentos y agua contaminados por MPs podría ser la principal ruta de exposición humana a dichos tóxicos ambientales. Una publicación realizada en 2021 por la Universidad de Newcastle (Australia), estableció que la tasa promedio global de ingestión de microplásticos (GARMI) oscilaba entre 7,7 g y 287,0 g/persona/año (18). Otro estudio, tras analizar los patrones dietéticos y los estilos de vida de los estadounidenses, estimó un consumo de entre 39.000 y 52.000 partículas/persona. Se consideró que combinando las vías de exposición e inhalación estas cifras podrían ascender a 74.000 y 121.000 partículas/persona. Además, se observó que las personas que basaban su ingesta hídrica a partir de agua embotellada sumaban en torno a 90.000 partículas adicionales, en comparación con las personas que consumían agua de grifo, las cuales ingerían 4000 partículas (12). Se han hallado microplásticos en las bebidas descritas a continuación y numerosos alimentos como los pescados y mariscos (19, 20), azúcar (21), miel (22), sal de mesa (11) entre otros. No obstante, el envasado de los alimentos y bebidas puede ser una fuente aún más destacable de MPs (10, 12).

Uno de los mayores factores que podría justificar la presencia de microplásticos en los sistemas de aguas puede que ser la falta de tratamiento de algunas residuales o su ineficacia a la hora de eliminarlos. Hoy en día, hay países que no disponen de la tecnología pertinente. Esto conlleva una mayor exposición humana a MPs. En 2019, un informe de la OMS en acerca de los microplásticos en agua potable mencionó un estudio calculó que, una planta de tratamiento de alto rendimiento (PTAR), liberaba en torno a 65 millones de partículas microplásticas a diario, lo que equivaldría a aproximadamente 100 partículas/equivalente de población/día (23). Se considera que con un tratamiento convencional se eliminaría la mayor parte de microplásticos a través de mecanismos como la filtración. Por ende, con un tratamiento terciario, se podría reducir drásticamente la descarga total de MPs. No obstante, existen una serie de factores como la aglomeración, la rugosidad y la carga superficial que dificultan dichos procesos. Concretamente, hay un novedoso tratamiento que, a través de un sistema de membranas podría

ser capaz de eliminar la totalidad de las partículas microplásticas a través de nanofiltración (para partículas $> 0,001 \mu\text{m}$), ultrafiltración (con el fin de eliminar microplásticos $> 0,01 \mu\text{m}$) y microfiltración (capaz de eliminar MPs $> 1 \mu\text{m}$) (23, 24). En esta misma línea, una reciente publicación realizada en Dinamarca consideró que las cargas de microplásticos en el agua potable eran muy bajas tras procesarse en una PTAR. Del mismo modo, sugerían un riesgo ínfimo en la salud humana (25). A pesar de que los sistemas de tratamiento de aguas se consideren eficaces a la hora de eliminar otras partículas de menor tamaño que los MPs, los estudios orientados a estos últimos son escasos (23).

En líneas generales, el número de publicaciones que pretenden abordar la contaminación microplástica resulta insuficiente. Esto se debe a la falta de métodos universalizados para su cuantificación, la ausencia de cifras estándar con las que comparar los hallazgos y las carencias de información acerca del proceso de degradación de los microplásticos. Por ello, los resultados que se obtienen pueden no ser concluyentes. Para poder cuantificar la contaminación micro/macro- plástica a nivel mundial sería necesario escalar su contenido en mares regionales y ecosistemas oceánicos. Durante los últimos diez años, el número de informes acerca de la contaminación ambiental y el impacto de los microplásticos ha ido aumentando de forma paralela a su consumo. Como se ha mencionado anteriormente, dicha contaminación es originada por la presencia de MPs (tanto primarios como secundarios). Algunos investigadores han sugerido que este acúmulo podría verse influido por la radiación solar, la temperatura atmosférica, los vientos geostróficos que tienen lugar como consecuencia los gradientes de presión atmosférica y el efecto Coriolis (26).

Parte de la problemática de estos materiales reside en su poder de lixiviación y su capacidad para absorber sustancias tóxicas. En torno a 10-20 millones de toneladas de la basura que genera el ser humano acaba en los océanos formando parte de la biota (sustrato de múltiples organismos marinos) (27). No obstante, hay una serie de limitaciones a la hora de determinar

cuantitativamente la presencia de MPs y su comportamiento tanto en el medio ambiente como en el ser humano. Principalmente se debe a la ausencia de información acerca de cómo la combinación de los efectos fotolíticos, la fragmentación, la abrasión mecánica y los aditivos químicos afectan en la formación de microplásticos. En la actualidad, se emplean diversos métodos como la microestretoscopía de Raman/infrarroja o la separación por densidad cuando los volúmenes de agua manejados son cuantitativamente considerables, es decir, cuando son > 100 L (lo que se considera un volumen de muestra estándar) (6). Sin embargo, no existen métodos universalmente aprobados para ninguno de estos aspectos y los resultados podrían verse sesgados.

Como consecuencia de la transferencia trófica y el posterior proceso de envasado, los microplásticos son incluidos en la dieta. Hasta la fecha, la mayoría de los trabajos acerca de su impacto, han sido orientados a las posibles repercusiones sobre la vida marina (determinando un riesgo incierto sobre la salud humana). Estudios recientes, exponen algunas posibles repercusiones como el efecto mutagénico y cancerígeno o las interacciones hormonales (p.ej. actividad estrogénica) de algunos componentes del plástico (PVC y monómeros y oligómeros de estireno respectivamente) (7). Estados Unidos (EE. UU) y la Unión Europea (UE) han reconocido la peligrosidad de más de 175 productos químicos como disruptores endocrinos, tóxicos reproductivos empleados en el envasado de alimentos (28). Además, un estudio reciente de la organización Orb Media demostró la presencia de fibras en el agua de grifo, doblando su concentración en agua embotellada (29). También se han encontrado estas partículas en refrescos, bebidas energéticas y té frío entre otras bebidas (30).

Es innegable que el consumo de plástico incrementa de manera exponencial cada año a pesar de organizaciones como la ONU medioambiente (United Nations Environment Programme), la Comisión Europea y la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas químicas (ECHA) intenten regular este problema que atañe a la salud pública (31). El consumo de MPs también ha ido

umentando debido a sus múltiples usos como la fabricación de productos de limpieza, cosméticos y macroplásticos a partir de graza, su aumento es también notable. En 2019, ONU MedioAmbiente creó la iniciativa “Mares Limpios” con el fin de conferir importancia a la contaminación plástica y orientar sus acciones a reducirla. Ese año, el número de países participantes fue de 60. Los Estados Miembros adoptaron entonces medidas para limitar productos de plástico a un solo uso para 2030. El secretario de esta organización, tras visitar la isla de Fiji declaró: que los océanos se estaban empleando como vertedero y se estaban “ahogando en la contaminación plástica” por lo que debían eliminarse los plásticos de un solo uso (32). El dificultoso reciclaje de estos materiales y su baja degradabilidad conlleva un constante acúmulo de MPs en el medioambiente. En este último año, no resulta disparatado deducir que habrá un considerable aumento de producción de plástico y MPs como consecuencia de la pandemia mundial de Covid-19 (producción masiva de mascarillas, guantes...). Actualmente, en los hospitales todas las muestras, pertenencias personales e historias clínicas van en bolsas de plástico, sumándose a los fómites anteriormente mencionados. Este acrecentamiento es extrapolable a todas las actividades económicas, que han tenido que adoptar medidas de prevención contra el Covid-19 (mascarillas, guantes, ...). Como se mencionaba anteriormente, se conocen varios componentes plásticos que suponen un peligro para la salud (7). El ser humano se encuentra constantemente expuesto a ellos por diferentes vías (inhalatoria, dérmica e ingestión) y se conoce su presencia en diversas bebidas (22, 29, 30) y comida (22).

Este estudio acota la revisión a la presencia de MPs en diferentes tipos de bebidas y a su potencial problema para la salud humana debido a la amplitud de información sobre de estos en comida (22, 29, 30).

La función del personal de enfermería en este ámbito es principalmente, la promoción de la salud en la población. Otra competencia que ha de considerarse es la divulgación científica para

trasladar esta información a la ciudadanía. Actualmente, los microplásticos no son sólo un problema que concierne a la biosfera si no que sus efectos en la cadena trófica son una cuestión emergente de gran impacto a nivel mundial. La instauración de una relación de confianza con el paciente va a favorecer la educación sanitaria. Asimismo, la adherencia de los conocimientos puede verse favorecida por el uso un lenguaje carente de tecnicismos. De esta manera se produce una mejor adherencia de conocimientos y conductas saludables. Asimismo, como personal sanitario se debe estar informado de los posibles tóxicos que presentan los alimentos para poder asesorar nutricionalmente al paciente de manera adecuada.

En esta revisión bibliográfica exploratoria se expondrán por tanto los conocimientos que se tienen hoy en día acerca de la presencia de microplásticos en bebidas de consumo humano y las posibles repercusiones de estos sobre la salud. Además, se reflejarán las competencias de promoción de salud y educación sanitaria que debe desarrollar el personal sanitario.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Objetivo general: Identificar y analizar la literatura científica sobre exposición humana a microplásticos a través de la ingesta de bebidas.

Objetivos específicos:

1. Determinar las bebidas de consumo humano identificadas en la literatura científica como fuente de exposición a microplásticos.
2. Conocer las posibles repercusiones de los microplásticos sobre la salud humana.
3. Identificar las políticas vigentes y situación normativa actual en relación con los microplásticos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Identificación de la pregunta de investigación

Para realizar de manera adecuada esta revisión exploratoria, la primera toma de contacto con el tema ha sido a través de la pregunta de investigación. Inicialmente, se partió del deseo de investigar la presencia de microplásticos en alimentos. Tras una búsqueda inicial, se observó que la cantidad de información acerca del tema era demasiado amplia y no podía abarcarse en este trabajo. Por ello, se delimitó a la presencia de microplásticos en bebidas de consumo humano y sus posibles efectos para la salud humana. Añadiendo este último aspecto, se logró dar una perspectiva desde el punto de vista sociosanitario.

Búsqueda e identificación de estudios relevantes

Se han empleado diferentes bases de datos con el fin de obtener documentos relacionados con la ingestión de MPs a través de bebidas y su repercusión sobre la salud humana. La información ha sido recopilada por dos revisores, la autora del Trabajo Fin de Grado y su tutora, que ha

proporcionado publicaciones a las que como estudiante no he tenido acceso. La temporalidad de la búsqueda está comprendida entre los meses de diciembre de 2020 y marzo de 2021.

Las bases de datos empleadas han sido PubMed, Scielo, Google Académico, Web of Science (WOS), Scopus y Elsevier. En todas ellas se ha usado la herramienta de búsqueda avanzada combinando los Descriptores de Ciencias de la Salud (DeCs) “microplastics”, “plastics” “health risk”, “food”, “beverages”, y “diet”. También se ha contemplado la bibliografía sugerida por dichas fuentes. Tras una exhaustiva recopilación de datos, se decidió descartar el término acuñado por el DeCs “diet” por ser empleado para estudios relacionados con la alimentación de organismos marinos y no resultar, por tanto, relevante para este trabajo. Por otro lado, se incluye el término “plastics” para ampliar las posibles repercusiones del material plástico sobre la salud humana. Consecuentemente, se ha acotado información a través de la categoría “species: humans” y un filtro temporal de 11 años comprendido entre 2010 y 2021. Con el fin de optimizar el contenido del trabajo, se ha hecho una primera selección de bibliografía a través de la lectura del título y resumen de los estudios y posteriormente se ha procedido a la lectura de los documentos seleccionados.

Selección de estudios basados en criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión empleados han sido:

- La combinación de los diferentes DeCs con el operador booleano “AND” como se reflejan posteriormente (Tabla 2: Combinación de DeCs empleados en las diferentes bases de datos (archivos escogidos/archivos encontrados)).
- Publicaciones en inglés y/o español.
- Filtro temporal de publicaciones comprendidas entre 2010 y 2021.
- Publicaciones de acceso libre y/o a través del organismo de la Universidad de Oviedo junto a archivos de acceso limitado relevantes proporcionados por la tutora.

Los criterios de exclusión han sido:

- Publicaciones no recogidas en las búsquedas con las diferentes combinaciones de DeCs que se reflejan posteriormente (Tabla 2: Combinación de DeCs empleados en las diferentes bases de datos (archivos escogidos/archivos encontrados)).
- Publicaciones en otros idiomas que no fueran inglés y/o español.
- Publicaciones anteriores a 2010.
- Publicaciones que exijan un método de pago para su acceso y la tutora de esta revisión no haya logrado conseguido su acceso.

Se han localizado 664 estudios, pero se han excluido 615 porque no ser relevantes para el objetivo de la revisión, estar duplicados entre la bibliografía escogida o no contemplar el acceso a través de la institución de la Universidad de Oviedo. La totalidad de la bibliografía consultada es de 66 investigaciones donde se incluyen aquellas que cumplen los criterios de inclusión, los informes y monografías obtenidas de otras fuentes como instituciones, o los artículos relevantes mencionados en otras publicaciones. En la base de datos de Google Académico se llevaron a cabo las diferentes combinaciones de DeCs únicamente en el título para acotar la búsqueda excepto la agregación de “microplastics” “AND” “health risk” “AND” “diet” en todos los campos con el fin de ampliar la información obtenida. De este mismo modo, la base de datos de Scopus recoge una cantidad innumerable de publicaciones de divulgación científica. Por ello se limitaron las combinaciones a: 1) “microplastics” “AND” “beverages” y 2) “microplastics” “AND” “health risk” AND “diet” en título/resumen/palabras clave. Este mismo método se ha llevado a cabo en la fuente de información Elsevier limitando los DeCs en el título/resumen/palabras clave o sólo en el título para reducir el campo de búsqueda.

En última instancia, para maximizar los conocimientos en este campo, se ha indagado en entidades como el Grupo Mixto de Expertos sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino, “Joint Group of Expert son the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection” en inglés (GESAMP) (6), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (7), Center for International Environmental Law (CIEL) (11), la Organización Mundial de la Salud (OMS) (23), la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (32), Rezero (33) y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) (34). A continuación, se resumen las diferentes combinaciones de los DeCs y los resultados de búsqueda (Tabla 2: Combinación de DeCs empleados en las diferentes bases de datos (archivos escogidos/archivos encontrados)).

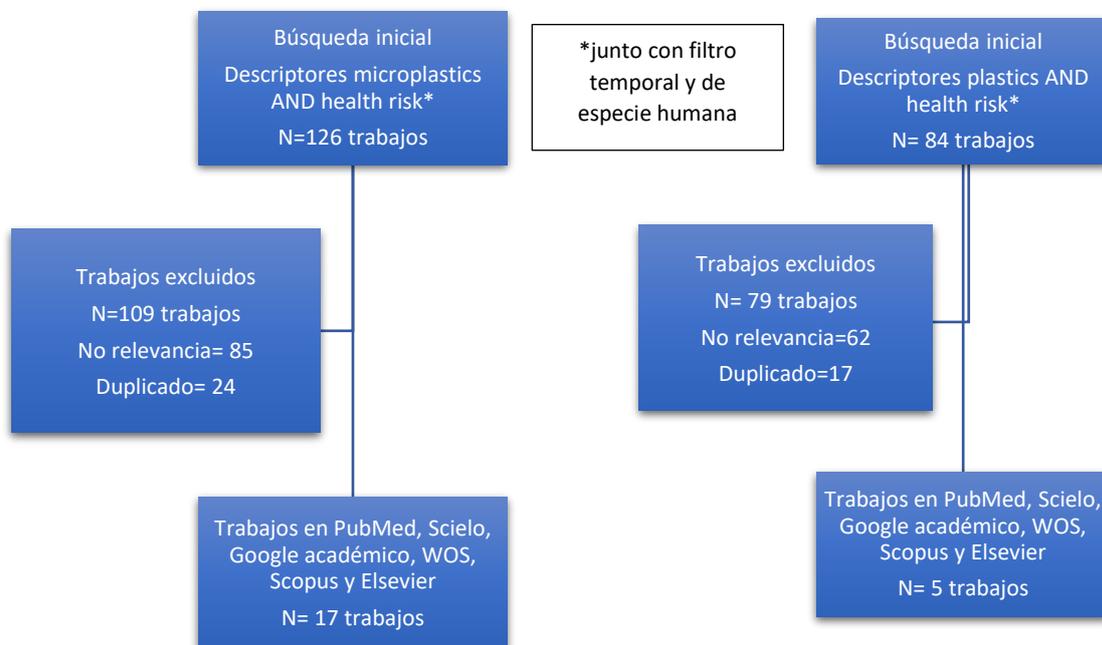
Tabla 2: Combinación de DeCs empleados en las diferentes bases de datos (archivos escogidos/archivos encontrados)

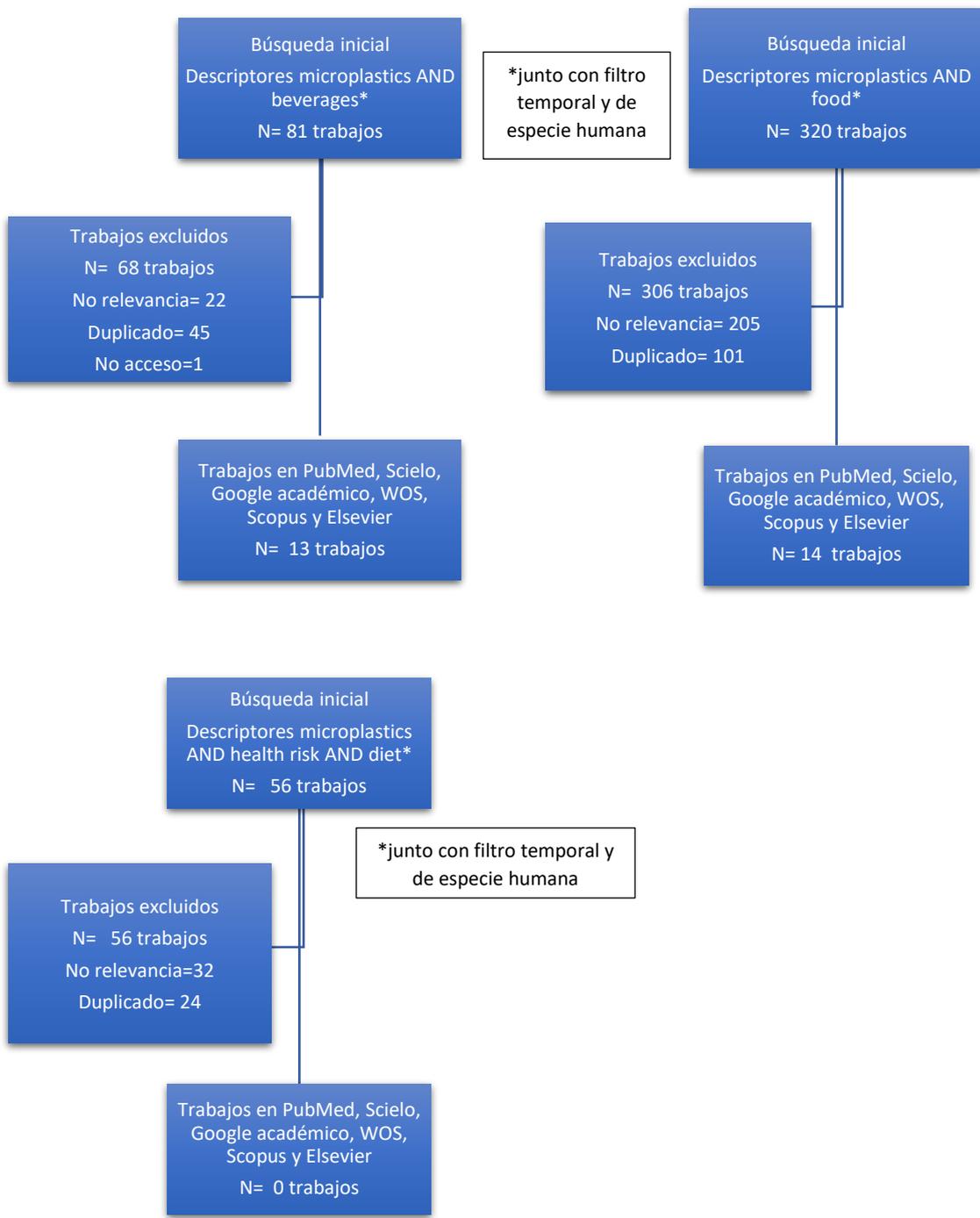
	Pubmed	Scielo	Google Académico	WOS	Scopus	Elsevier
"microplastics" AND "health risk" en todos los campos	11/83	0/1	-	-	-	-
"microplastics" AND "health risk" en el título	0	0	3/7	0/13	2/14	1/8
"Plastics" AND "health risk" en el título/resumen	2/22	-	-	-	-	-
"Plastics" AND "health risk" en todos los campos	-	0/3	-	-	-	-
"Plastics" AND "health risk" en el título	-	-	1/7	2/30	0/19	0/3
"Microplastics" AND "beverages" en todos los campos	7/16	0	-	-	-	-
"Microplastics" AND "beverages" en el título	-	-	0/4	-	-	-
"Microplastics" AND "beverages" en título/resumen/palabras clave	-	-	-	5/20	0/28	1/13
"Microplastics" AND food" en todos los campos	9/137	0/6	-	-	-	-
"Microplastics" AND food" en el título	-	-	2/61	2/42	1/42	0/32
"Microplastics" AND "health risk" AND "diet" en todos los campos	0/4	0	0	0/39	-	-
"Microplastics" AND "health risk" AND "diet" en título/resumen/palabras clave	-	-	-	-	0/10	0/3

Recopilación, resumen e informe sistemáticamente los resultados

A continuación, se reflejan a través de varios diagramas de flujo (Diagrama 1: Proceso de selección de bibliografía (fase 1 y 2) el proceso de selección de la bibliografía empleada. Una vez realizadas las búsquedas pertinentes con la combinación de los DeCs y operadores booleanos mencionados anteriormente, se ha procedido a seleccionar las referencias por títulos (fase 1). Acto seguido, se ha procedido a leer los resúmenes de las publicaciones consideradas. Seguidamente, se ha intercambiado publicaciones de interés con la tutora de esta revisión para incluir o descartar otras referencias (fase 2). Finalmente, se ha continuado la selección a través de la lectura completa de las referencias para incluir o excluir el estudio tras haber hallado el mismo en otras bases de datos, carecer de relevancia para el trabajo y/o no tener acceso gratuito o a través de la entidad de la Universidad de Oviedo.

Diagrama 1: Proceso de selección de bibliografía (fase 1 y 2)





RESULTADOS

Presencia de microplásticos en bebidas de consumo humano

Agua embotellada, de grifo y procedente de fuentes potables de uso público

Según la OMS en su informe publicado en 2019, los polímeros más detectados en los diferentes estudios acerca de la presencia de MPs en bebidas de consumo humano fueron PET y PP. Para detectar las diferentes partículas en agua dulce y potable, se emplearon mallas de diversos tamaños, siendo las más pequeñas usadas para muestras de agua potable. Por este motivo, no se puede establecer una información comparativa entre los datos recogidos en agua dulce y potable. Tras un recuento se hallaron 0-103 partículas/L en agua dulce y de 0 a 104 partículas/L en el agua potable. Los valores medios variaron de 10-3 a 103 partículas/L. El tamaño de la partícula más pequeña que se reflejó con los actuales sistemas de detección fue de 1 μm . Estableciendo un consumo predeterminado de 2L de agua diarios según las recomendaciones de la OMS, dicha cantidad proporcionaría una ingesta estimada en adultos de 85 μg de microplásticos/día. Esto equivale a una ingesta de 1,4 μg de microplásticos/kg de peso corporal/día. Por otro lado, la ingesta máxima de MPs para un niño sería de 0,025 μg /kg de peso corporal/día, lo que corresponde a un consumo en torno al 2% del valor de referencia provisional. Si así fuera, estos datos podrían considerarse poco alarmantes. Además, en este informe se estimó el límite superior de la ingesta diaria de sustancias químicas absorbidas por los MPs y su correspondiente margen de exposición (Tabla 3: Estimaciones de la ingesta diaria límite superior de sustancias químicas de MPs y su correspondiente margen de exposición). Para la evaluación de todas estas determinaciones se usaron las siguientes fórmulas (23):

La ingesta diaria máxima es equivalente a:

- Concentración máxima en microplásticos ($\mu\text{g/g}$) x masa de partículas de plástico (g) x concentración de partículas en agua (partículas/L) x ingesta diaria de agua potable [L]/peso corporal predeterminado*.

*Se toma como referencia un adulto de 60 kg de peso consumidor de 2 L de agua/día.

- Por otro lado, la masa de una partícula de plástico se calcula como $\frac{4}{3} r^3 \times \text{densidad}$. El radio es de 75 μm y la densidad es de 2,3 g/cm^3 .

Tabla 3: Estimaciones de la ingesta diaria límite superior de sustancias químicas de MPs y su correspondiente margen de exposición

Químico	Límite superior de concentración en microplásticos ($\mu\text{g/g}$)	Máxima ingesta diaria (ng/kg de peso corporal/día)	Punto de partida ($\mu\text{g/kg}$ de peso corporal/día)
Bisfenol A (BPA)	0,7297	0,001	609
Cadmio	3390	5,0	0,8
Clordano	0,0144	0,00002	50
Ftalato de di (2-etilhexilo)	0,0699	0,0001	2500
Diclorodifeniltricloroetano (DDT)	7,1	0,0001	1000
Hexaclorobenceno	0,0587	0,00002	50
Hidrocarburos poliaromáticos	119	0,06	100
PBDEs	9,9	0,01	100
PCBs	18,7	0,03	5

Elaboración propia a partir de los datos de OMS (2019) (23)

Tras comparar la ingesta diaria de las sustancias y sus respectivos valores en agua potable la OMS les asignó afirmó que los efectos sobre salud humana eran insignificantes. Las contribuciones de benzopireno, clordano y DDT entre otros fue de < 1%.

El “primer estudio cuantitativo” acerca de la exposición a microplásticos (<10 mm) asociados a botellas de plástico fue realizado por la Universidad de Catania (Italia). En esta investigación, se

estableció una concentración de MPs de 100-3.000 mg/L y una ingesta diaria estimada (IED) para adultos y niños de 40,1 mg/kg/peso corporal y 87,8 mg/kg/peso corporal, respectivamente (35).

Por otro lado, en un estudio realizado en 2018 por la Universidad de Nueva York, se analizaron 11 marcas de agua embotellada de diferentes países a través de la tinción de rojo Nilo. Se examinaron 259 botellas y tras contemplar la contaminación de las muestras en el laboratorio, se concluyó que el 93% de estas contenía microplásticos. Se hallaron en torno a 10,4 partículas de microplásticos (> 100 um)/L de agua embotellada procesada (un promedio de 325 partículas microplásticas/L de agua embotellada de entre 6.5 y 100 um), siendo la mayoría fibras (29).

Otra investigación llevada a cabo este 2021 en China, analizó un total de 69 muestras de agua embotellada de diferentes marcas. Como en todos los estudios anteriores, requirió de controles de calidad y prevención de la contaminación a la hora de extraer los microplásticos. En este estudio los MPs fueron identificados y analizados morfológicamente con espectroscopia y microscopio electrónico de barrido respectivamente. En todas estas muestras, se hallaron un total de 215 partículas MPs (con un rango de 2-23 partículas/botella). La mayoría de las partículas (alrededor del 90%) presentaron un tamaño inferior a 1 mm. Se encontraron 11 tipos polímeros entre los que se encontraban PET, PE, PS y PA. Sus proporciones fueron PET (7%), PE (6%), PS (5%) y PA (4%). Las cifras elevadas de PA y celulosa sugieren una contaminación por degradación de componentes naturales como los árboles. Por otro lado, las botellas suelen estar compuestas por PET, PE y PP de alta densidad (36). En este estudio, para calcular la ingesta diaria estimada (IDE) de MPs en agua embotellada se empleó la fórmula:

$$\text{IDE} = (\text{MPs/kg/d}) = (C \times \text{IR}) / \text{pc}$$

- IR = tasa de ingestión (L/d)
- C = concentración de MP (partículas/L)
- pc = peso corporal (Kg)

Según los patrones dietéticos y consumo medio de agua en China (1,2 L/d y 0,6 L/d en adultos y niños respectivamente), determinaron que la IDE de MPs para los adultos y niños a través de agua embotellada es de 0,274 MPs/kg/d y 0,600 MPs/kg/d (teniendo en cuenta un adulto de 70 kg que y un niño 16 kg) (36). Asimismo, un estudio estadounidense analizó muestras de agua embotellada junto con otros productos de consumo humano como la miel, sal y azúcar considerando que los resultados podrían estar sobrestimados por la falta de muestras representativas (37).

Otra publicación realizada en Alemania tomó examinó 32 muestras de diversas marcas de agua mineral empaquetada en botellas reutilizables, de un solo uso de PET o de vidrio, llegando a la conclusión de que, a parte del envasado de las bebidas, debían barajarse otras fuentes de contaminación (39).

Asimismo, el agua de grifo no se encuentra libre de plásticos. De ahí se puede deducir que, como se acaba de mencionar, el envasado en botellas de plástico no es la única fuente de contaminación. Este mismo factor fue considerado por la organización Orb Media. Múltiples investigadores de New York analizaron 159 muestras de agua del grifo de múltiples países (incluyendo países desarrollados y en vías de desarrollo). El 81% contuvo entre 0 a 61 partículas/L, con un promedio de 5,45 partículas/L (11). Las muestras pertenecientes a EE. UU. evidenciaron el mayor nivel de contaminación plástica (94%). En cuanto a Europa, presentó una tasa de contaminación del 72%. Dichos investigadores sugirieron que las personas pueden ingerir 3.000-4.000 microplásticos/año a través del agua del grifo. Además, encontraron diferencias significativas entre países desarrollados y en vías de desarrollo ya que, los primeros presentaban mayor número de microplásticos (entorno al 98% eran fibras) (40). En adición, esta misma entidad, Orb Media, realizó un estudio con los mismos investigadores para detectar MPs en agua embotellada. Finalmente se observó que la cantidad de plástico en esta se duplicaba respecto a la cuantía hallada en la anterior investigación de agua del grifo (29).

Por otro lado, también se han hallado microplásticos en fuentes de agua potable. En un estudio realizado en México, se tomaron 42 muestras de fuentes de agua potable de diferentes estaciones de metro de la ciudad. Los microplásticos estuvieron presentes en cada una de las muestras con una desviación típica (DT) de 18 (7) microplásticos/L. Su morfología más habitual fue de fibras transparentes (69%) de diferentes colores. Las medidas más frecuentes fueron de 0,1 a 1 mm, suponiendo en torno al 75% del total de microplásticos hallados. A través de la espectroscopía Micro-Raman se identificaron las principales partículas en el agua. Principalmente fueron poliésteres (poli (PET)) y resina epoxi, lo que sugiere posible contaminación por aguas residuales (teniendo en cuenta el posible sesgo a pesar de las medidas preventivas) (41).

Otras investigaciones que determinaron MPs en agua corriente como la realizada en Alemania, identificaron partículas de polietileno (PE), poliamida (PA), poliéster (PES), cloruro de polivinilo (PVC) y resina epoxi encolada de tamaños de 50 a 150 μm (42).

A pesar de que, en los estudios disponibles, los valores del margen de exposición a microplásticos en agua potable indiquen una baja preocupación de salud humana hay una considerada incertidumbre acerca de la exposición a partículas de plástico.

Cerveza

En un estudio realizado en 2014 en Alemania, se analizaron un total de 24 marcas de cervezas (algunas de ellas muy consumidas en dicho país). Para analizar las muestras se empleó la filtración, tamizado y análisis espectroscópico entre otras técnicas. Se tomaron medidas preventivas para evitar la contaminación como el uso de agua filtrada para lavar el material de vidrio, etc. El contenido medio de fibras en las muestras obtenidas fue de 2-79 fibras microplásticas/L, 5-109 fragmentos de MPs/L y de 2 a 173 gránulos microplásticos/L (43).

En otra publicación realizada por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional de Ciudad de México, se tomaron un total de 26 muestras. Su contenido promedio fue de 152 MPs/L (con una DT de 50,97 microplásticos/L). Aunque la gran mayoría de las muestras contenían una alta concentración de MPs, hubo algunas en las que no estuvieron presentes. De la totalidad de MPs hallados, alrededor de un 69% de ellos fue menor de 1 mm y el 23% de un tamaño de 1 a 2 mm. En estas bebidas se encontraron fundamentalmente PA, PEA y PET (30).

En adición, esta bebida también fue analizada por la Universidad Central de Ecuador en colaboración con la Universidad de Alicante (España) el pasado 2020. Para esta investigación, se tomaron como muestra refrescos de diferentes marcas, cervezas (industriales y artesanales), leche desnatada y otros productos de consumo humano. En la Tabla 4: Características de las muestras tomadas del estudio realizado por la Universidad de Ecuador y Alicante, se reflejan las características de las muestras analizadas referidas a bebidas de consumo humano (22).

Tabla 4: Características de las muestras tomadas del estudio realizado por la Universidad de Ecuador y Alicante

Alimento	Volumen de la muestra analizada (ml)	Características específicas
Leche desnatada	1000	Porcentaje de grasa menor del 1%, envasada en cubiertas de polietileno o Tetra Pak
Refrescos	500	Sabor cítrico a limón/naranja envasado en botella de PET o Tetra Pak
Cerveza	750	Industrial o artesanal embotellada en vidrio

Elaboración propia a partir de los datos de Diaz-Basantes MF (2020) (22)

Como en publicaciones anteriores, también se tomaron una serie de medidas para evitar la contaminación (p.ej. el filtrado del aire) y, por tanto, la alteración de los resultados. Dicha contaminación microplástica en productos como la leche o el zumo analizado podría provenir del procesado al cual se somete la bebida y/o del propio embalaje. Sin embargo, en el caso de las muestras de cerveza envasadas en botellines de vidrio, podría haber otras rutas que justificasen su presencia como son la adhesión de agua para macerar los granos triturados de malta y/o su posterior cocinado a 60°C. Para extraer los MPs, se empleó metodología que incluyó el tamizado y la filtración. Asimismo, para identificar su composición química se empleó la espectroscopía de infrarrojos transformada de Fourier (FTIR). Se hallaron tanto fragmentos en todas las muestras analizadas (cuyas dimensiones oscilaban entre 2,48 y 247,54 μm) como fibras (cuyo tamaño tenía de 13,45 a 6742,48 μm) de diferentes coloraciones (verde, amarillo, rojo...). Los polímeros hallados fueron PP, LDPE, PEBD y poliacrilamida. Las cervezas artesanales elaboradas en ciudades tenían mayor cantidad de partículas microplásticas (superiores a 100 MPs). La cantidad promedio de MPs en cervezas era de 32 MPs/L en artesanales y 47 MPs/L en cerveza industrial (22).

Leche

En 2010, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Ciudad de México) realizó una investigación en la cual se analizaron 23 muestras de leche de diferentes marcas (incluyendo leche infantil) con el fin de confirmar la presencia de microplásticos. Se procuró escoger muestras que no estuvieran envasadas en plástico para evitar la contaminación. Se hallaron 150 partículas microplásticas en las 23 muestras de leche con una concentración promedio de 6,5 con una DT de 2,3 partículas/L (la más baja reportada entre los en productos alimenticios líquidos). En la muestra de leche infantil, el contenido promedio (DT) fue de 7 (2,83) partículas/L. Entre las muestras, hubo gran variedad de colores (azul, marrón, rojo y rosa), morfología superficial (fibras y fragmentos) y tamaños (0,1–5 mm).

La mayoría de los MPs, tenían un tamaño que podía recogerse entre los grupos de 0,5-1 mm (alrededor de un 28%) y 1-2 mm (en torno a un 25%). Se empleó la espectroscopía dispersiva de energía por microscopía electrónica de barrido (SEMEDS) para determinar la morfología y el espectroscopio Raman para la composición química de los microplásticos. A través de este primer método, se detectó rugosidad en los MPs ocasionada por microagujeros, huecos y poros. También se identificaron componentes metales en sus superficies como el magnesio, silicio y aluminio. Se hallaron dos polímeros diferentes, polietersulfona (PES) y polisulfona (PSU) siendo el termoplástico (PES) el microplástico más común encontrado entre las muestras. Los investigadores consideraron que estas partículas, podrían provenir de las membranas de ultrafiltración y microfiltración empleadas en los procesos de la industria alimentaria. Los niveles de microplásticos fueron significativamente superiores en las leches procesadas frente a las muestras de leche entera. Se tomaron, además, medidas preventivas para evitar la contaminación como el cerrado de puertas y ventanas durante extracción de microplásticos, uso de material de vidrio, mantenimiento de la campana extractora apagada... Sin embargo, los investigadores no pudieron afirmar con seguridad las causas de la presencia de MPs en la leche. Aun así, se contempló la posibilidad de añadir agua a la leche entre otros procesos de fabricación (manipulación de la leche, máquinas de ordeño, camiones de transporte, material de embalaje de plástico...) como posible fuente (44).

Por otro lado, en 2020, la Universidad de Ecuador y Alicante realizó una investigación citada anteriormente en la cual se analizaron muestras de leche. El promedio de microplásticos en estas fue de 40 MPs/L en leche desnatada (22).

Vino

La Universidad de Aveiro (Portugal), realizó en 2020 un estudio donde se identificaron partículas de PE en vino blanco. Se tomaron un total 26 botellas de 750 mL de vino blanco de diferentes variedades de uva con tapón de plástico (factor que puede aumentar la probabilidad de hallar

MPs) como muestra. El tamaño de los MPs hallados fue de 0,1 y 1 mm. Tras el uso de diferentes metodologías, los investigadores decidieron emplear la espectroscopia micro-Raman. Consideraron que esta técnica de detección era la más confiable para estimar la concentración y caracterizar los polímeros en bebidas a pesar de que los resultados, podrían verse alterados por la materia orgánica del vino. La concentración hallada fue de 183 con una DT de 123 partículas/L y un tamaño comprendido entre 26 y 122 μm (45). Sin embargo, los datos acerca de la presencia de MPs en vino blanco no pueden demostrar que el uso de tapones de plástico origine la contaminación en dicha bebida y que, otro tipo de sistema de cerrado sea capaz de reducirla (46).

Otro estudio realizado en Francia mencionado en un informe de la EFSA halló ftalatos en la mayoría de las muestras de vino (solamente un 17% no presentó estos polímeros). Los más prevalentes fueron DEHP, BBP y DBP, estableciendo un valor promedio de este último de 59 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (47).

Té, bebidas carbonatadas y bebidas energéticas

Como se mencionó anteriormente, en 2020 en México, se realizó un estudio que analizó un total de 57 bebidas de 27 marcas diferentes que incluían té frío, refrescos, bebidas energéticas y cervezas envasadas en botellas en plástico reutilizable (PET) o botellas de vidrio. Las muestras fueron procesadas mediante filtración simple y microespectroscopia de Raman. Previamente a su análisis, se tomaron una serie de medidas para prevenir la contaminación de estas (empleo de material de vidrio, espacio limpio con etanol 70%...)

- En relación con el té frío, el promedio (DT) de partículas fue de 11 (5,26) MPs/L. La morfología más prevalente fueron las fibras de diferentes colores. En torno al 80% de las partículas de la muestra tenían un tamaño inferior al 1 mm.
- Respecto a los refrescos, el promedio total (DT) fue de 40 (24,53) de MPs/L en forma de fibras de diferentes coloraciones. Su tamaño osciló entre 0,1 a 3 mm.

- En bebidas energéticas, se identificó un promedio (DT) de 14 (5,79) partículas microplásticas/L fibrosas de diferentes tonalidades. Los microplásticos de menos de 1 mm supusieron el 70% del total.

El polímero más prevalente en las muestras estudiadas fue PA. Además, los investigadores observaron que el contenido de microplásticos era menor en té frío respecto a las bebidas energéticas. La concentración en estas, a su vez, era inferior frente a la hallada en los refrescos. Asimismo, la mayor cantidad de MPs había sido hallada en las muestras de cerveza. Se cree que la mayoría de la contaminación por microplásticos puede deberse al agua dulce que se emplea en la fabricación, aunque se barajan otros factores como el envasado en botellas de un solo uso de PET y los tapones de plástico (30).

Investigadores de la Universidad de Ecuador y Alicante reseñados en apartados anteriores, analizaron muestras de refrescos cuyo valor promedio fue de 32 MPs/L (22).

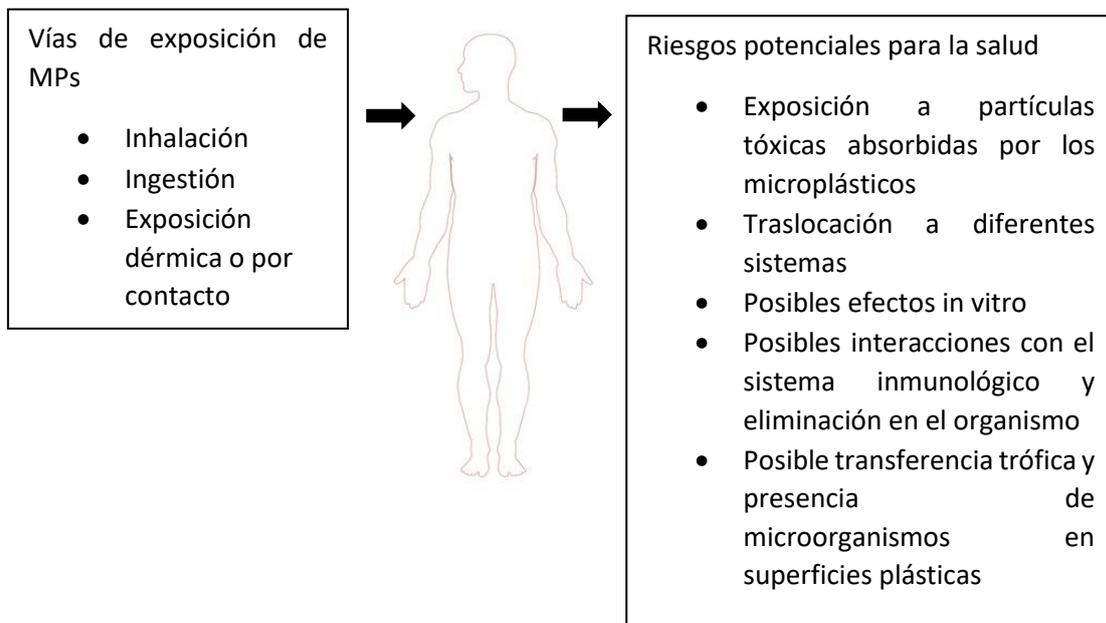
Asimismo, un estudio realizado en 2019 en Canadá analizó la presencia de microplásticos y nanoplásticos en té envasado en bolsas de plástico. Se estimó que “una persona podría ingerir aproximadamente 2,3 millones de partículas $> 1 \mu\text{m}$ ” con tan sólo una taza de té (48).

Potenciales riesgos para la salud humana

Este es un área de investigación relativamente nueva que supone una gran incertidumbre. A pesar de que los seres humanos estén expuestos a los microplásticos, los estudios suelen limitarse las repercusiones en animales, mencionando un riesgo incierto para el ser humano. Por lo tanto, se requiere de mayor cantidad de estudios para proporcionar información útil que permita determinar el riesgo de los MPs para la salud humana. De este modo, se podrá educar a los consumidores e influir en las políticas que se encargan del control de la producción y eliminación de plástico, proponiendo alternativas al plástico. Para poder estimar los riesgos potenciales, se requieren conocimientos acerca de una metodología validada. Dichas

repercusiones van a depender del nivel de exposición y, por tanto, de la dosis absorbida y efectos químicos. En esos últimos, intervienen diversos factores como son el área de superficie, la reactividad y la toxicidad extrínseca (contaminantes absorbidos) e intrínseca del polímero.

Ilustración 1: Esquema de las vías de exposición a MPs y riesgos potenciales para la salud



Fuente: Elaboración propia

Si bien no hay evidencia suficiente para determinar que los MPs supongan un riesgo para la salud, a continuación, se enumeran algunos de los posibles efectos que podrían tener sobre la salud humana, como base para futuras investigaciones.

Exposición a partículas tóxicas absorbidas por los microplásticos

Los microplásticos contienen un 4% de aditivos de media, pudiendo variar con la tipología de plástico (11). Entre los químicos absorbidos del medio ambiente comúnmente conocidos como contaminantes orgánicos persistentes (COP) o sustancias tóxicas bioacumulativas persistentes (PBT), se encuentran los monómeros y oligómeros (como el PE o PET), bifenilos policlorados (PCB), retardadores de llama como los éteres de difenilo polibromados (PBDE), hidrocarburos

aromáticos policíclicos (PAH), retardantes de llama bromados (BFR). Los COP están restringidos y prohibidos por la Ley de Estocolmo por ser sustancias peligrosas que se relacionan con cáncer y daños reproductivos entre otras patologías y ser transferibles a través de la leche materna (11). Concretamente, se realizó un estudio en Uganda para determinar la cantidad de éteres de difenilo polibromados en la leche materna y su posible riesgo para la salud de los lactantes. Para calcular la ingesta dietética diaria estimada (IDE) en los bebés, se calculó mediante la fórmula (49):

$$IDE^* = \frac{1}{4} C_l \times F_w$$

- IDE es la ingesta dietética diaria estimada medida en ng/kg x peso corporal/día
- C_l = concentración de la muestra del lactante en ng/g peso corporal
- F_w = contenido de lípidos en la muestra
- D = consumo diario de leche del lactante
- P_l = peso (kg) del bebé

*Se tomó como referencia un bebé de 5 kg consumidor de 700 g de leche diarios.

Las concentraciones totales de PBDE oscilaron entre 0,59 y 8,11 ng/g peso corporal. La exposición a estos éteres se relaciona con el consumo de pescado e inhalación de humos del procesamiento de pintura y carbón principalmente. Con esta investigación, no se pudo determinar la correlación entre la exposición a estos polímeros y el nacimiento y peso de los bebés (49).

Algunos de los COP anteriormente mencionados, se incluyen en una clasificación realizada por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC siglas en inglés) como por ejemplo el cloruro de vinilo que se agrupa en el Grupo 1 (“cancerígeno para los seres humanos”) y el estireno en el G2A, es decir, se cataloga como probable carcinógeno para los humanos (31).

Para conocer sus efectos, habría que evaluar la dosis-respuesta y determinar los niveles umbral. Es posible que las partículas más pequeñas presenten una toxicidad intrínseca más elevada debido a que tienen más área superficial por unidad de masa, aunque esta hipótesis no ha sido comprobada (6).

Se ha cuantificado la presencia de algunos aditivos de los microplásticos. El Comité Mixto de la FAO y la OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) determinó que la ingesta dietética de éteres de difenilo polibromados (PDBE) era de aproximadamente 4 ng/kg de peso corporal/día en adultos y en torno a 100 ng/kg de peso corporal/día en bebés lactantes. También informaron acerca de la exposición media en adultos al BPA que fue de entre 0,01 y 0,4 µg/kg peso corporal/día. En cuanto a niños, jóvenes y adolescentes su exposición media fue de 0,1 a 0,5 µg/kg de peso corporal/día (7). Otro estudio concluyó que su concentración en orina podía oscilar entre 0,4 y 149 µg/L (siendo superior en mujeres frente a hombres y en niños y adolescentes frente a adultos) (50). El BPA tiene la capacidad para absorberse mediante exposición dérmica y translocarse a diferentes órganos (12). Esto, a su vez, puede alterar la función hepática, reproductiva (endometriosis, esterilidad, abortos espontáneos, ovario poliquístico...), inmunológica y cerebral. Además, puede provocar resistencia a la insulina, obesidad y anomalías fetales. Cabe destacar también su poder cancerígeno y su presencia en calostro materno (11, 12, 50). Actualmente se considera al BPA como un importante disruptor endocrino (50).

Otro aspecto perjudicial de los microplásticos es que, como menciona SCIEL, los plásticos contienen especies reactivas de oxígeno (ROS) o radicales libres. Se conocen como ROS a las moléculas inestables de oxígeno que reaccionan fácilmente con otras moléculas (11). Si estos radicales se acumulan dentro de la célula, pueden llegar a dañar el ADN, ARN y las proteínas ocasionando finalmente la muerte celular (11).

En líneas generales, una de las mayores repercusiones de las PBT es su poder de transferencia en la cadena alimentaria y bioacumulación en los tejidos de organismos. En cambio, se cree que la mayoría de los microplásticos ingeridos no se translocarán, y, por lo tanto, su contenido no será tan concentrado en niveles tróficos superiores. (7).

Translocación a diferentes sistemas

Se cree que la translocación es bastante probable durante la inflamación porque se origina una situación de mayor permeabilidad de las barreras epiteliales (12). Se han empleado modelos animales que pretenden aproximarse a los posibles riesgos de exposición en seres humanos por estar expuestos a micro y nanoplásticos (sobre todo MPs primarios). Se considera que los MPs podrían tener efectos sobre la salud humana, especialmente en consumidores de pescados y mariscos.

Se sabe de la existencia de publicaciones de más de 20 años que afirman la presencia de MPs en el cuerpo humano a través de la captación linfática y gastrointestinal. No obstante, se desconoce si los microplásticos ingeridos se delimitan a la luz intestinal o si se absorben y transportan a través del epitelio intestinal hasta llegar a órganos y tejidos (34). Además, no se sabe a ciencia cierta hasta qué punto los MPs podrían degradarse en el intestino (7). Se cree que, a nivel óseo, los MPs, al alcanzar este tejido, tienen la posibilidad de causar pérdida ósea al activar los osteoclastos. Por otro lado, hay autores que postulan que pueden atravesar la placenta humana (6). En un estudio realizado en 2010 en Suiza, se demostró que perlas de PS de unos 240 nm podrían llegar a atravesar la placenta humana por difusión simple (51). Por otro lado, en una publicación de la OMS anteriormente mencionada, se pone de manifiesto que, las partículas de plástico más pequeñas es posible que puedan atravesar la pared intestinal y trasladarse a tejidos alejados una vez traspasan la mucosa. Sin embargo, afirman que esto no tiene por qué significar necesariamente un riesgo de salud (23).

Actualmente, la información acerca de la absorción y los procesos de eliminación de estas partículas en humanos es escasa y no aporta datos sólidos. En cambio, en mamíferos (concretamente en ratones in vivo) estos fenómenos están más estudiados (Tabla 5: Destino de microplásticos y nanoplásticos en cuerpos de mamíferos en función del tamaño de la partícula). Hay múltiples factores que intervienen en la absorción como son el tamaño, la carga superficial, la hidrofiliidad y su composición (52). También deben tenerse en cuenta situaciones como la desnutrición, las dietas con un alto contenido de fructosa y aquellas ricas en grasas saturadas puesto que dan lugar a un aumento de la permeabilidad (13).

Por el contrario, se cree que los nanoplásticos sí que podrían traspasar la barrera del epitelio intestinal. En un estudio in vitro, se desarrolló un modelo que pretendía imitar la digestión humana. Los investigadores afirmaron que las nanopartículas de PS de 50 nm podían translocarse (52). Además, un estudio realizado en China concluyó que los microplásticos de PS podían resultar tóxicos para las células Caco-2 (dependiendo del tamaño y de la concentración de las partículas) (53). Estas caco-2 son células de adenocarcinoma colorrectal humano que tienen la capacidad de diferenciarse en enterocitos. Otra investigación realizada en este mismo país reflejó que los microplásticos de PS compuestos con tetraciclina (TC), podían causar daño a las células de cáncer gástrico (AGS) en unas 24h de exposición (54).

Aunque la información que se tiene hasta ahora resulta insuficiente, se cree que los pacientes con una mayor permeabilidad intestinal, como aquellos que padecen enfermedades inflamatorias crónicas del intestino, podrían ser más susceptibles a la absorción de micropartículas y al daño potencial de estas micropartículas (55). De todos modos, los datos acerca de los efectos sobre la salud humana de estas partículas se limitan a unos pocos estudios que requieren su validez en escenarios de exposición realistas.

Tabla 5: Destino de microplásticos y nanoplásticos en cuerpos de mamíferos en función del tamaño de la partícula

Microplásticos (0,1 a 5000 μm)	Nanoplásticos (1–100 nm)
> 150 μm sin absorción	<ul style="list-style-type: none"> • ≤ 100 nm acceso a todos los órganos, translocación de sangre-cerebro y barrera placentaria • Absorción hasta 7%
<150 μm en linfa absorción $\leq 0.3\%$	
= 110 μm en vena porta	
≤ 20 μm de acceso a los órganos (≤ 20000 nm)	

Elaboración propia a partir de los datos de Lusher AL (2017) (7)

Otro aspecto estudiado en relación con la interacción de los microplásticos con los diferentes sistemas es a nivel respiratorio. Hay estudios que relacionan esta exposición a síntomas respiratorios como disnea, reacciones bronquiales inmediatas similares al asma y cambios inflamatorios. La contaminación aérea vinculada al PVC está asociada con la mortalidad por cáncer de pulmón y por enfermedad cardiopulmonar. Se han hallado fibras plásticas y de celulosa en biopsias pulmonares ≤ 250 mm. El volumen corriente de un ser humano es aproximadamente de 6L/min por lo que, los pulmones de una persona podrían estar expuestos diariamente a 26-130 microplásticos en el aire. Se considera que las partículas más pequeñas pueden llegar a las vías respiratorias inferiores y depositarse por sedimentación mientras que, en las vías altas, el depósito se produce por impactación de las partículas. Asimismo, una eliminación ineficaz de estas por parte de los macrófagos y su consecuente reacción inflamatoria crónica podría originar dichos efectos adversos (17).

A pesar de ello, se tiene más información acerca de los efectos de otros tipos de nanomateriales. Debido a la falta general de datos experimentales, se desconoce el riesgo de toxicidad de micro y nanoplásticos tras su absorción. Por ello no pueden evaluarse (7).

Posibles efectos in vitro e in vivo

Hay varios estudios que han intentado esbozar los posibles efectos de los microplásticos sobre la salud humana in vitro en animales como ratones, ratas y bivalvos. La mayoría de estos estudios revelaron que la respuesta de los organismos a micro/nano-plásticos dependían de factores fisicoquímicos (tamaño, tipo de partícula, forma y cargas superficiales). Se concluyó que las partículas de menor tamaño facilitan la absorción y son potencialmente más tóxicas junto con los microplásticos cargados positivamente y la morfología esférica. No obstante, dependen de la concentración y la duración de exposición. Algunos de los efectos nocivos que se mencionan son el comportamiento alimentario alterado, la neurotoxicidad, la tasa de crecimiento reducida, etc. (56).

Para este tipo de trabajos es necesario principalmente dos requisitos: hacer una declaración ética y que dichos ensayos sean aceptados. En una investigación reciente realizada en ratas expuestas a nanopartículas de PS esférico, se pudo observar las posibles alteraciones endocrinas (concretamente a nivel reproductivo) como parte de los efectos de los microplásticos. Los resultados del estudio se centraron en la relación entre la exposición y la dosis-respuesta junto con su modo de acción (MOA). Los autores de dicha publicación concluyeron que los niveles de T disminuían significativamente en comparación con el control, sobre todo a exposiciones mínimas (en grupos posteriores fue menos acusada). Respecto a los niveles de LH y FSH disminuyeron, aunque no considerablemente los de esta segunda hormona. En relación con el semen, su cantidad también se había visto reducida (una media del 44,9%). Además, los espermatozoides presentaban alteraciones en la movilidad, la morfología y en el ADN del esperma (57).

Por otro lado, la ECHA, en una de sus evaluaciones sugirió que la exposición a ftalatos en el útero tenía relación con posibles malformaciones congénitas en los órganos reproductores masculinos (como la criptorquidia o la hipospadia), reducción de la calidad del semen,

disminución de los niveles hormonales y cambios en el periodo puberal. Aún con estos datos, la existencia de más componentes con efectos androgénicos y la escasez de estudios, no permite afirmar la contribución de los ftalatos sobre los problemas de fertilidad mencionados (47).

A parte de estas posibles repercusiones, algunos estudios in vivo realizados en ratones pretenden fundamentar otros posibles efectos de los microplásticos como son los trastornos metabólicos (cambios en la energía y en el metabolismo de las grasas), estrés oxidativo y neurotoxicidad (11, 57).

Además, hay una serie de autores que consideran que un deterioro en la barrera intestinal-vascular puede favorecer el acceso de los microplásticos a la circulación y distribuirse a través del sistema porta por el organismo. De este modo, se cree que algunas partículas pueden interactuar con proteínas sanguíneas, aunque, por otro lado, no se espera que ingresen grandes cantidades y puedan llegar a alterar las funciones de células sanguíneas (51).

A parte de las diferentes investigaciones con ratas y ratones, lo más cerca que se ha estado de simular los posibles efectos humanos ha sido empleando células humanas (52, 53, 58). Los estudios se han centrado sobre todo en la posible absorción intestinal de los microplásticos usando modelos in vitro. Hay publicaciones que afirman que partículas más pequeñas como los nanoplasticos (NPs) de PS de en torno a 20 nm pueden ser absorbidas con facilidad por humanos. Además, se considera que estas partículas más pequeñas, pueden inducir la secreción de citocinas como IL-6 e IL-8 e intervenir a nivel respiratorio (59).

Posibles interacciones con el sistema inmunológico y eliminación en el organismo

Se cree que las partículas micro y nanoplasticas interactúan con el sistema inmunológico. La fagocitosis que llevan a cabo los macrófagos ingiere partículas $> 0,5 \mu\text{m}$. El límite superior de fagocitosis está determinado por el volumen del macrófago (7). El fenómeno por el cual estos fagocitos no son capaces de eliminar el patógeno se conoce como "fagocitosis frustrada". Ante

esta situación, se produce una inflamación prolongada que puede ocasionar daño tisular (58). Dicha inflamación conlleva un mayor gasto de energía por lo que, indirectamente, se producen alteraciones en el metabolismo (13). Además, ha llegado a barajarse la posibilidad de que, tras la exposición, los MPs pudieran inducir inmunodeficiencia local o sistémica. Esto se debe a la liberación y/o activación inadecuada de inmunomoduladores inmunes y la inducción de estrés oxidativo que pueden ocasionar (12).

Otra manera de eliminar micropartículas en la sangre es a través del líquido biliar, siendo finalmente desechadas por las heces (7, 23, 55). En un estudio realizado en Viena, se evidenció la presencia de microplásticos en heces mediante una serie de casos prospectivos. Se tomó como referencia la muestra de 9 voluntarios residentes de diferentes países. Se les dispensó un kit de muestreo de heces. Los participantes registraron su ingesta de alimentos sin llevar a cabo ninguna restricción dietética durante de 6-7 días previos al muestreo. Asimismo, se les dio una serie de indicaciones para evitar la contaminación con plásticos o fibras sintéticas. Algunos de los voluntarios consumieron marisco en el último mes y agua embotellada en plástico. También se registró el uso de cosméticos con contenido polimérico tras considerar la crema de manos como una posible fuente de contaminación. La metodología empleada para su identificación fue el tamizado y microspectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR). Se hallaron polímeros como PE, PVC, PS, PA, PU, PP Y PET (siendo los dos últimos lo más prevalentes) de un tamaño entre 50 y 500 μm . Su morfología comprendía fragmentos, películas y rara vez de esferas o fibras. El promedio de microplásticos fue de 20 MPs por cada 10 g de heces (55). Por otro lado, se ha realizado un estudio recientemente en Beijing (China) que refleja la presencia de 1 a 36 microplásticos/g de heces. Los participantes de esta investigación habían ingerido agua de grifo, bebidas envasadas, leche, productos lácteos y cerveza entre otros productos de consumo humano. El polímero más hallado en el muestreo fue PP, aunque también se encontró PET, PS, PE, PVC, PC, PA y PU (60).

También se han hallado polímeros en orina humana, entre ellos metabolitos de ftalatos y fenoles que se relacionan con el envasado de alimentos. Se recogieron 52 muestras de orina de seis países de Europa (incluyendo muestras procedentes de España). La media de polímeros hallados por muestra fue de 20,5 partículas. Los ftalatos, como se ha mencionado anteriormente, actúan como disruptor hormonal y endocrino causando alteraciones tiroideas, partos prematuros, alergias, crecimiento de células cancerosas, etc. Por otra parte, los fenoles se cree que aumentan el riesgo de padecer cáncer de próstata, diabetes y enfermedades cardiovasculares además de disminuir la fertilidad. Posiblemente el fenol más investigado sea BPA. Este aditivo se emplea en la fabricación de botellas de agua y latas de aluminio por lo que, la mayor vía de exposición es la ingestión de alimentos y bebidas. En el año 2017, el BPA fue incluido como una sustancia peligrosa por la Agencia Química Europea porque tener efectos adversos sobre la reproducción, los sistemas nervioso e inmunológico y asociarse con riesgo de cáncer de mama entre otros (33). Por esto mismo, la UE ha prohibido su uso en algunos productos como biberones de plástico (aunque dichas restricciones son limitadas). Además, es posible que los envases de plástico, aunque no contengan BPA sí estén compuestos por otros bisfenoles.

Posible transferencia trófica y presencia de microorganismos en superficies plásticas

La transferencia trófica de los COP es un aspecto que genera gran preocupación debido a que, algunos aditivos, aparte de modificar las propiedades plásticas, pueden ocasionar afecciones en el desarrollo. En un estudio realizado por la EFSA, se detectaron PCB en alimentos procedentes del mercado europeo como la leche cruda y otros derivados lácteos. Se promedió una exposición dietética total de 4,3-25,7 ng PCB/kg de peso corporal/día. Por otra parte, la JECFA obtuvo resultados similares de estos mismos compuestos en su estudio. Los PCB se relacionan con efectos cancerígenos y alteraciones en el sistema inmunológico, endocrino y reproductivo (61). Además, se estimó la exposición a otros aditivos como PAH, benzopireno y DDT (23). Concretamente los PAH se cree que pueden dar lugar a diversos efectos adversos entre los que

se incluyen alteraciones endocrinas y reproductivas, carcinogenicidad, teratogenicidad, genotoxicidad e inmuno y neurotoxicidad (62).

Por otro lado, se ha investigado acerca de la presencia de comunidades bacterianas en MPs por su actuación como sustrato. Las biopelículas presentes en el agua potable se generan a partir del crecimiento de microorganismos en tuberías y otras superficies (sobre todo bacterias heterótrofas, virus entéricos y protozoos) y su posterior desprendimiento. Estas pueden adherirse a los MPs, los cuales actúan como vectores para su transporte en largas distancias (23). Se cree que las micropartículas que presentan una superficie rugosa son más susceptibles a la formación de plastisferas aunque también influye la hidrofobicidad no polar y las condiciones ambientales (salinidad, temperatura, radiación UV...). Algunos de los microorganismos oportunistas que pueden adherirse son: *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella spp.*, *Mycobacterium no tuberculoso spp.* y *Naegleria fowleri* (23). Paralelamente, hay bibliografía que considera que algunas bacterias, hongos y algas podrían intervenir en la degradación de plástico (62). Sin embargo, hay lagunas de conocimiento acerca de la presencia, distribución y potenciales riesgos de estas biopelículas asociadas a MPs.

Políticas vigentes y situación normativa actual

Actualmente, hay una serie de políticas que se están evaluando en relación con el uso de los MPs.

En 2016, la EFSA, evaluó los riesgos de MPs en alimentos, concluyendo que no se puede determinar el riesgo potencial de los mismos por la escasez de datos que lo sugieran. La información acerca de sus impactos y toxicidad para la salud humana resulta insuficiente (15). Por su parte, la Unión Europea se centra en el riesgo medioambiental, aunque valora la importancia de la protección de la salud del consumidor (31).

En 2017, la Oficina Regional Europea de la OMS, realizó una actualización de la Directiva europea relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano que sustituyó a la Directiva 98/83/CE. A pesar de que, dicho reajuste no contempla a los microplásticos como tal, sí incluye recomendaciones en relación con nanopartículas. No obstante, destacan que no hay métodos adecuados para su correcta medición (31).

Por otro lado, en 2018, la Comisión Europea solicitó la elaboración de un documento para prohibir los MPs en cosméticos y otros PCP que recibió el nombre de “expediente” (15, 31). También publicó *Note on substance identification and the potential scope of a restriction on uses of microplastics (Nota sobre la identificación de sustancias y el alcance potencial de una restricción sobre el uso de microplásticos)* para establecer un reglamento relativo al registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias y mezclas químicas (REACH) (15, 31). Este mismo año, la Comisión Europea publicó *A European Strategy for Plastics in a Circular Economy (Una estrategia europea para los plásticos en una economía circular)* que planteaba políticas medioambientales teniendo en cuenta aspectos como el de los microplásticos. En este documento se valoraba el impacto medioambiental, cuantificación y seguimiento de estos en el agua de consumo humano (31). Por estrategias como estas, el Parlamento Europeo adoptó medidas que prohibieron el uso de ciertos polímeros e incentivó a las empresas a buscar alternativas. No obstante, aún no hay legislación para los MPs como contaminantes en los alimentos (14).

Por otro lado, hay dos directivas orientadas a establecer políticas contra la contaminación del aire:

- a. Directiva 2004/107/CE relacionada con metales como el arsénico, cadmio, mercurio, etc. en el aire.
- b. Directiva 2008/50/EC sobre "Calidad del aire ambiente y aire más limpio para Europa".

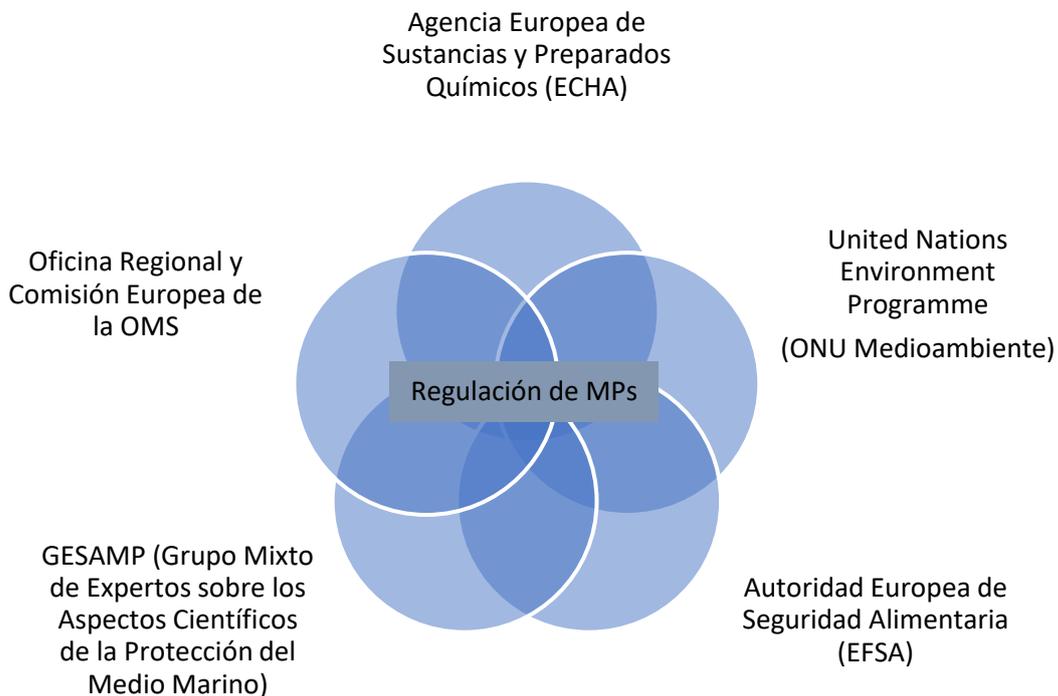
El problema de ambas directivas es que no contemplan la contaminación del aire por microplásticos (15).

Además, hay otros organismos que fomentan la investigación acerca de alternativas a los plásticos y sus posibles efectos para la salud. Asimismo, muchas de ellas promueven su reducción para disminuir la contaminación. Algunas de estas instituciones internacionales son (31):

- Organización de las Naciones Unidas (ONU), concretamente ONU Medioambiente (United Nations Environment Programme) impulsa iniciativas para afrontar la problemática de los plásticos. Concretamente, hay una serie de guías que focalizan en los residuos plásticos y políticas medioambientales.
- Por otro lado, la GESAMP quiere desarrollar talleres para concienciar a la población sobre la contaminación generada por los microplásticos. Además, pretenden poner en práctica la gestión y las estrategias contra estos residuos.
- En otros países como Canadá y Australia, también hay normativas acerca del agua potable. Concretamente en EE. UU., se estableció un reglamento *National Primary Drinking Water Regulations (Regulaciones nacionales primarias de agua potable)* con el fin de controlar los sistemas públicos de agua. Este no incluyó a los microplásticos, pero sí algunos polímeros como el PVC, el estireno o el cianuro. De manera conjunta se creó la *Norma de monitorización de contaminantes no regulados* para incluir contaminantes no contemplados en esta regulación anteriormente mencionada. Cabe destacar igualmente Japón. En este país, además de abordar el aspecto medioambiental de los microplásticos, se intentó implantar una metodología adecuada para cuantificarlos. A través de esta, se quisieron establecer los potenciales impactos de los MPs para la salud humana.

Por último, hay un reglamento marco de la UE sobre MCA (CE) 1935/2004 que, junto con el Reglamento de la UE sobre las buenas prácticas de fabricación para materiales y otros artículos destinados a entrar en contacto con alimentos (CE) 2023/2006, pretenden establecer las normas generales sobre materiales en contacto con alimentos. Su objetivo es asentar unas bases que permitan asegurar la protección de la salud humana, así como el interés de los consumidores. Para ello, se quiere intervenir en el mercado interior para garantizar su funcionamiento eficaz relativo a los materiales “destinados a entrar en contacto directa o indirectamente con alimentos” (33). Este reglamento, es aplicable por ejemplo a los revestimientos plásticos en cubiertas de latas. Sin embargo, aún no se contemplan los adhesivos o tintas de impresión, ni los colorantes y disolventes empleados en dicho material (33).

Diagrama 2: Regulación de microplásticos a nivel europeo



Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

Hay multitud de preguntas sin respuesta acerca de diversos aspectos de los microplásticos. Por ello, es necesario incentivar la investigación en este campo. Esta revisión exploratoria, aporta conocimientos acerca de la presencia de microplásticos en bebidas de consumo humano, intentando recopilar en una sola publicación en cuáles de estas se han evidenciado. En el apartado de *ANEXOS*, se puede consultar las tablas de realización propia que engloban dicha información.

Respecto al agua potable, se ha observado que el envasado de las bebidas influye en la cantidad de microplásticos en las mismas. Un estudio realizado en Shangai, simuló el posible efecto de someter envases de PS, PE y PET al transporte de comida caliente. Se hallaron de 1 a 41 MPs/envase (mayoritariamente fibras) siendo entorno a un 55% de un tamaño inferior a 500 μm . Algunos de los polímeros más identificados fueron nylon, poliéster y los empleados en la fabricación de los envases (PP, PS, PE y PET). Se consideró además que, los MPs, podían proceder del aire a pesar de las medidas de prevención tomadas en el laboratorio. Los investigadores concluyeron por tanto que los recipientes desechables empleados para llevar la comida aumentan el riesgo de exposición humana a estas partículas. Finalmente, se determinó que la ingesta humana de MPs a través de envases de comida fue de 12-203 microplásticos/semana (64). Para este cálculo, se consideró la abundancia promedio de microplásticos en los envases, la frecuencia de los pedidos y la duración de la comida (estableciendo 20 min para comer). Del mismo modo, otro trabajo identificó partículas de un diámetro medio de 50 nm tras el lavado de los envases de alimentos (10).

Hay además otros factores medioambientales como el aire que intervienen en la contaminación (12, 14, 16, 17). Al mismo tiempo, el agua potable se emplea en la fabricación de otras bebidas como la cerveza, el vino o el té. Esta misma razón puede poner de manifiesto otra de las causas por las cuales los MPs están presentes en diversos productos.

En cuanto a las posibles repercusiones de los microplásticos para la salud humana, tampoco hay certezas. Actualmente la mayoría de las investigaciones están centradas en los potenciales problemas en las diferentes especies animales, sobre todo mariscos y peces. Para aproximarse a los efectos en seres humanos, se han realizado diversos estudios in vitro e in vivo. Estos exponen la posibilidad de que los MPs junto con los aditivos absorbidos, se transloquen a los diferentes sistemas e interaccionen con ellos causando alteraciones endocrinas, reproductivas metabólicas, neurológicas... (52, 53, 54, 57, 58). Hay investigadores que especulan que el ser humano está expuesto sistémicamente en pequeños porcentajes a microplásticos ($\leq 0,3\%$) con un tamaño inferior a $150 \mu\text{m}$ por su capacidad para trasladarse de la cavidad intestinal al sistema linfático y circulatorio. Asimismo, los microplásticos $\leq 20 \mu\text{m}$ serían capaces de penetrar en los órganos (25, 65). Como se mencionó anteriormente, un estudio realizado en China quiso simular la barrera intestinal humana para determinar la capacidad de absorber microplásticos (53). Igualmente se han asociado ciertos polímeros como el PVC a problemas respiratorios como la disnea, reacciones bronquiales inmediatas (similares al asma) y cambios inflamatorios (17). Además, hay autores que sugieren la exposición a partículas tóxicas absorbidas y microorganismos en las superficies de los microplásticos (23).

Limitaciones y fortalezas

La información contenida en esta revisión de alcance se ha podido ver limitada por el filtro temporal establecido de 11 años (entre 2010 y 2021) y varios sesgos, entre ellos el sesgo de selección. Por este último, se pueden estar descartando algunos trabajos relevantes a pesar de haber intentado ajustar meticulosamente los criterios de inclusión y exclusión. Además, se valora el sesgo de publicación científica por el cual los datos recogidos podrían verse alterados. Esto es debido a la tendencia de publicar sólo los resultados de las investigaciones que se encuentran estadísticamente significativas, dejando sin publicar aquellas donde no se hallan asociaciones relevantes. Por otro lado, se han escogido bibliografía escrita en los idiomas

español e inglés. Además, se han excluido artículos a los cuales no se ha podido acceder ni por parte de la autora del trabajo ni de su tutora. A menudo se identificaron como publicaciones cuya lectura exigía un método de pago o la Universidad de Oviedo no tenía su acceso reconocido. También se valora la posible discriminación de trabajos por el empleo de los anteriormente mencionados Descriptores de la Salud y la exclusión de otros que podrían ampliar la información.

Si bien en líneas generales la información acerca de los microplásticos y sus implicaciones medioambientales y sanitarias resulta escasa, esta revisión pretende establecer una base para futuras investigaciones. Concretamente, este Trabajo Fin de Grado puede resultar útil por la recopilación de datos sobre los microplásticos en múltiples bebidas.

Futuras líneas de investigación

Por un lado, tras consultar la literatura científica, se observa que no existe metodología validada para el análisis de microplásticos en las diferentes muestras que permita la reproductibilidad (aunque muchos estudios emplean la microespectroscopia de Raman). Actualmente, se sabe que los seres humanos están expuestos a MPs principalmente a través de tres vías que son la ingestión, la inhalación y el contacto dérmico. Asimismo, la escasez de conocimientos no permite determinar la exposición acumulada. Uno de los puntos claves para los cuales nos sería útil esta unificación es para conocer las dosis tóxicas a partir de las cuales se aprecian los efectos adversos (12). También se ha llegado a la conclusión de que sucede algo similar a la hora de prevenir contaminaciones de las muestras. Cada estudio toma una serie de medidas como el uso de recipientes de vidrio, correcto cerrado de ventanas, etc. Por ello, los datos que se muestran pueden no ser del todo verídicos y aportar información de calidad.

Es innegable que se requieren más investigaciones acerca de la aparición, distribución, tamaño, forma, tipo de polímero y transporte de partículas plásticas en el medio ambiente y a través de la cadena trófica, así como sus posibles efectos sobre la salud humana. De esta manera, nos

ayudaría a comprender las tasas de acumulación en cada uno de los compartimientos de la biosfera y, por tanto, conocer el potencial de los microplásticos para influir en la salud humana.

Promoción de la salud

Las actividades encaminadas a la promoción de la salud han sido variadas. Por un parte, ha habido escuelas que han ido adoptando actividades educativas sobre plásticos. Paralelamente, la sociedad civil ha ido lanzando campañas. Además, algunas industrias han comenzado a responsabilizarse de reducir el uso de plástico. El compromiso político también está creciendo. En respuesta a las preocupaciones sobre el impacto de la contaminación plástica y microplástica, ha aumentado la educación sanitaria y la participación pública. En términos de educación, podemos distinguir entre educación formal (temas científicos incluidos en los planes de estudios de los diferentes sistemas educativos) e informal (a través de personas voluntarias que autodirigen proyectos). Un ejemplo de este segundo tipo sería la limpieza de playas o la eliminación de basura en ecosistemas marinos por los pescadores. Este tipo de actividades, brindan oportunidades educativas que pueden ayudar a concienciar a las personas acerca de un problema emergente como este. Una colaboración conjunta entre voluntarios y personas con una formación científica especializada podría servir de ayuda para ofrecer una educación sanitaria válida y de calidad.

Por un lado, hay una serie de proyectos centrados en la composición y distribución de desechos, así como en su impacto acerca de la biota marina. Entre ellos, cabe destacar el programa Científicos de la Basura (Litter Scientist) de Chile que aborda el tema de los microplásticos y, en sus resultados, relaciona un mayor nivel de educación con mayor compromiso socioambiental (66). Este tipo de iniciativas, podrían orientarse a las posibles repercusiones de los microplásticos para la salud humana. De esta misma manera, se conseguiría dar un enfoque ecológico y sanitario.

Por otro lado, una de las competencias más importantes del personal sanitario es actualizar continuamente sus conocimientos. La problemática de los microplásticos es un asunto emergente que, como se ha intentado reflejar en este estudio, no solamente concierne a nivel ecológico si no que, cada vez, adquiere más peso el aspecto socio sanitario. Asimismo, algunos de los puntos sobre los que se puede trabajar se enumeran a continuación:

- ✓ Informar acerca de la posible contaminación que sufren los alimentos y bebidas de consumo humano por su envasado en plástico.
- ✓ Se debe recordar que no se recomienda calentar los alimentos en este tipo de materiales, los cuales no son resistentes al calor. Además, cabe destacar la importancia de reducir la exposición a MPs y sus aditivos en lactantes y niños. Esto es, por ejemplo, evitar botellas y biberones de plástico. En adición, hay evidencia científica que cree la leche infantil podría tener MPs. Por ello, cabe mencionar la necesidad de garantizar la esterilidad de la leche para eliminar los posibles patógenos (como se ha informado anteriormente los MPs pueden tener biopelículas en su superficie).
- ✓ A la hora de consumir PCP, es importante enseñar al paciente a leer el etiquetado, mencionando cuáles son los posibles aditivos químicos asociados a las microperlas (termoplásticos y siliconas, sobre todo) que pueden encontrarse en pastas de dientes, cremas de manos, etc.
- ✓ Recomendar la adecuada ventilación de espacios cerrados, como es el caso de la vivienda. Hay estudios que evidencian la mayor presencia de microplásticos en aire de interiores frente a exteriores.
- ✓ Además, aparte de trasladar estos conocimientos a la población adulta, se pueden introducir talleres informativos en las escuelas, jornadas de salud preventiva y medioambiental, etc. De esta manera, se pretende concienciar desde las primeras etapas de vida y promover hábitos de vida saludables.

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS DE INTERÉS PARA LA PRÁCTICA CLÍNICA

1. La evidencia científica de la que se dispone en estos momentos permite afirmar que hay mayor contenido de microplásticos en agua embotellada comparado con los presentes en agua potable procedente de fuentes o grifos. Asimismo, también presenta mayor concentración de MPs el aire de espacios interiores respecto a exteriores.
2. Por otro lado, se cree que, a mayor procesado de las bebidas, mayor probabilidad de contaminación microplástica.
3. La vía de exposición a MPs más significativa es a través de la ingestión. A su vez, se considera que el envasado de los productos alimenticios y bebidas de consumo humano influyen en la cantidad de MPs detectados.
4. Se necesita metodología estandarizada y validada para poder exponer datos de calidad en relación con la cantidad de MPs hallada y el tipo de polímero. De esta manera, se podría conocer la toxicidad intrínseca y extrínseca de dichas partículas.
5. La información que se tiene actualmente no permite afirmar con seguridad los posibles efectos adversos de dichas partículas sobre la salud humana, por lo que, son necesarios más estudios.
6. El personal de enfermería debe actualizar continuamente sus conocimientos en base a la evidencia científica. Asimismo, podrá concienciar a la población a través de la promoción de la salud, la educación sanitaria y las medidas higiénico-dietéticas anteriormente mencionadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lusher AL, McHugh M, Thompson RC. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Mar Pollut Bull.* 2013;67(1-2):94-9. doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.11.028. Epub 2012 Dec 27. PMID: 23273934.
2. Klaine SJ, Koelmans AA, Horne N, Carley S, Handy RD, Kapustka L, et al. Paradigms to assess the environmental impact of manufactured nanomaterials. *Environ Toxicol Chem.* 2012;31(1):3-14. doi: 10.1002/etc.733. PMID: 22162122.
3. PlasticsEurope. An analysis of European plastics production, demand and waste data. [Internet]. Bruselas: PlasticsEurope; 2018 [citado 20 Nov 2020]. Disponible en: https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf
4. Carpenter EJ, Smith KL Jr. Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science.* 1972;175(4027):1240-1. doi: 10.1126/science.175.4027.1240. PMID: 5061243.
5. Harper PC, Fowler JA. Plastic pellets in New Zealand storm-killed prions (*Pachyptila* spp.) 1958-1977. *J. R. Soc. N. Z.* 1987;34(1):65-70.
6. Kershaw, P, editores. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. Londres: Joint Group of Expert son the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP); 2015 [citado 28 Feb 2021]. Disponible en: <http://www.gesamp.org/publications/reports-and-studies-no-90>
7. Lusher AL, Hollman, PCH, Mendoza-Hill JJ. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. 615nd ed. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 2017.
8. Punyaappa-path S, Punyaappa-path P. Microplastics: Origin, Environmental impact, Food and Beverage contamination and Management methods. *Naresuan University Journal: Science and Technology.* 2020;28(2):72-80.

9. Bretas Alvim C, Mendoza-Roca JA, Bes-Piá A. Wastewater treatment plant as microplastics release source - Quantification and identification techniques. *J Environ Manage.* 2020;255:109739. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109739. Epub 2019 Dec 26. PMID: 32063314.
10. luniyi O. Fadare, Bin Wan, Liang-Hong Guo, Lixia Zhao. Microplastics from consumer plastic food containers: Are we consuming it? *Chemosphere.* 2020; 253: 126787. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126787.
11. Azoulay D, Villa P, Arellano Y, Gordon M, Moon D, Miller K et al., editors. *Plastic & Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet* [Internet]. Washington, DC: Center for International Environmental Law; 2019 [citado 13 Dic 2020]. Disponible en: <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/02/Plastic-and-Health-The-Hidden-Costs-of-a-Plastic-Planet-February-2019.pdf>
12. Rahman A, Sarkar A, Yadav OP, Achari G, Slobodnik J. Potential human health risks due to environmental exposure to nano- and microplastics and knowledge gaps: A scoping review. *Sci Total Environ.* 2021;757:143872. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143872. Epub 2020 Dec 3. PMID: 33310568.
13. Prata JC, da Costa JP, Lopes I, Duarte AC, Rocha-Santos T. Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Sci Total Environ.* 2020;702:134455. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134455. Epub 2019 Oct 4. PMID: 31733547.
14. Roje Ž, Ilić K, Galić E, Pavičić I, Turčić P, Stanec Z et al. Synergistic effects of parabens and plastic nanoparticles on proliferation of human breast cancer cells. *Arh Hig Rada Toksikol.* 2019;70(4):310-314. doi: 10.2478/aiht-2019-70-3372. PMID: 32623858.
15. Chávez Quiroz FRS. *Dealing with microplastic pollution in the netherlands: human health risk assessment and policy making approaches* [tesis]. Países Bajos: Universidad de Twente; 2020.

16. Chen G, Feng Q, Wang J. Mini-review of microplastics in the atmosphere and their risks to humans. *Sci Total Environ.* 2020;703:135504. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135504. Epub 2019 Nov 13. PMID: 31753503.
17. Prata JC. Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environ Pollut.* 2018;234:115-126. doi: 10.1016/j.envpol.2017.11.043. Epub 2017 Dec 21. PMID: 29172041.
18. Senathirajah K, Attwood S, Bhagwat G, Carbery M, Wilson S, Palanisami T. Estimation of the mass of microplastics ingested - A pivotal first step towards human health risk assessment. *J Hazard Mater.* 2021;404(Pt B):124004. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124004. Epub 2020 Oct 6. PMID: 33130380.
19. Zarus GM, Muianga C, Hunter CM, Pappas RS. A review of data for quantifying human exposures to micro and nanoplastics and potential health risks. *Sci Total Environ.* 2021;756:144010. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144010. Epub 2020 Nov 24. PMID: 33310215; PMCID: PMC7775266.
20. Barboza LGA, Lopes C, Oliveira P, Bessa F, Otero V, Henriques B et al. Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Sci Total Environ.* 2020;717:134625. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134625. Epub 2019 Nov 14. PMID: 31836230.
21. Toussaint B, Raffael B, Angers-Loustau A, Gilliland D, Kestens V, Petrillo M et al. Review of micro- and nanoplastic contamination in the food chain. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 2019;36(5):639-673. doi: 10.1080/19440049.2019.1583381. Epub 2019 Apr 15. PMID: 30985273.
22. Diaz-Basantes MF, Conesa JA, Fullana A. Microplastics in Honey, Beer, Milk and Refreshments in Ecuador as Emerging Contaminants. *Sustainability.* 2020; 12 (14): 5514-5531. doi: 10.3390/su12145514.

23. Organización Mundial de la Salud (OMS). Microplastics in drinking water [Internet]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2019 [citado 15 Ene 2021]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/326499/9789241516198-eng.pdf?ua=1>
24. Shen M, Song B, Zhu Y, Zeng G, Zhang Y, Yang Y et al. Removal of microplastics via drinking water treatment: Current knowledge and future directions. *Chemosphere*. 2020;251:126612. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126612. Epub 2020 Mar 30. PMID: 32443234.
25. Kirstein IV, Hensel F, Gomiero A, Iordachescu L, Vianello A, Wittgren HB et al. Drinking plastics? – Quantification and qualification of microplastics in drinking water distribution systems by μ FTIR and Py-GCMS. *Water Research*. 2021; 188: 116519. doi: 10.1016/j.watres.2020.116519.
26. Browne MA, Galloway TS, Thompson RC. Spatial Patterns of Plastic Debris along Estuarine Shorelines. *Environ. Sci. Technol*. 2010; 44 (9):3404–3409.
27. Smith M, Love DC, Rochman CM, Neff RA. Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Curr Environ Health Rep*. 2018; 5(3):375-386.
28. Geueke B, Wagner CC, Muncke J. Food contact substances and chemicals of concern: a comparison of inventories. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 2014;31(8):1438-50.
29. Mason SA, Welch V, Neratko J. Synthetic polymer contamination in bottled water. [Internet] Fredonia: State University of New York; 2018 [citado 20 Dic 2020]. Disponible en: <https://orbmedia.org/sites/default/files/FinalBottledWaterReport.pdf>
30. Shruti VC, Pérez-Guevara F, Elizalde-Martínez I, Kutralam-Muniasamy G. First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks - Future research and environmental considerations. *Sci Total Environ*. 2020;726:138580. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138580. Epub 2020 Apr 14. PMID: 32315857.

31. Bollaín Pastor C, Vicente Agulló D. Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública [Presence of microplastics in water and the potential impact on public health]. Rev Esp Salud Publica. 2019;93:e201908064.
32. Programa medioambiental de Organización de las Naciones Unidas (ONU). Letter from the Executive Director, UNEP in 2019 [Internet]. Nueva York: Organización de las Naciones Unidas (ONU); 2019. Disponible en: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/32374/AR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
33. Rezero: Fundación para la Prevención de Residuos y el Consumo. Presencia de sustancias derivadas del plástico en la orina de más de 50 personalidades europeas y demandas para la ley de residuos estatal [Internet]. Barcelona: Rezero; 2020 [citado 4 Dic 2020]. Disponible en: <https://rezero.cat/wp-content/uploads/2020/12/dossier-prensa-salud-plastico-def.pdf>
34. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Food. EFSA Journal 2011;9(5):2156. [274 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2011.2156.
35. Zuccarello P, Ferrante M, Cristaldi A, Copat C, Grasso A, Sangregorio D et al. Exposure to microplastics (<10 µm) associated to plastic bottles mineral water consumption: The first quantitative study. Water Res. 2019;157:365-371. doi: 10.1016/j.watres.2019.03.091. Epub 2019 Mar 29. PMID: 30974285.
36. Xue-jun Zhou, Jin Wang, Hong-yan Li, Hui-min Zhang, Hua-Jiang, Dong Lei Zhang. Microplastic pollution of bottled water in China. Journal of Water Process Engineering. 2021; 40(101884). Doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101884.
37. Cox KD, Covernton GA, Davies HL, Dower JF, Juanes F, Dudas SE. Human Consumption of Microplastics. Environ Sci Technol. 2019;53(12):7068-7074. doi:

- 10.1021/acs.est.9b01517. Epub 2019 Jun 5. Erratum in: *Environ Sci Technol*. 2020 Sep 1;54(17):10974. PMID: 31184127.
38. Zuccarello P, Ferrante M, Cristaldi A, Copat C, Grasso A, Sangregorio D et al. Exposure to microplastics (<10 µm) associated to plastic bottles mineral water consumption: The first quantitative study. *Water Res*. 2019;157:365-371. doi: 10.1016/j.watres.2019.03.091. Epub 2019 Mar 29. PMID: 30974285.
39. Oßmann BE, Sarau G, Holtmannspötter H, Pischetsrieder M, Christiansen SH, Dicke W. Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Res*. 2018;141:307-316. doi: 10.1016/j.watres.2018.05.027. Epub 2018 May 16. PMID: 29803096.
40. Rhodes CJ. Plastic pollution and potential solutions. *Science Progress*. 2018;101(3):207-260. doi: 10.3184/003685018X15294876706211.
41. Shruti VC, Pérez-Guevara F, Kutralam-Muniasamy G. Metro station free drinking water fountain- A potential "microplastics hotspot" for human consumption. *Environ Pollut*. 2020;261:114227. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114227. Epub 2020 Feb 20. PMID: 32113111.
42. Kniggendorf AK, Wetzel C, Roth B. Microplastics Detection in Streaming Tap Water with Raman Spectroscopy. *Sensors (Basel)*. 2019;19(8):1839. doi: 10.3390/s19081839. PMID: 31003396; PMCID: PMC6515371.
43. Liebezeit G, Liebezeit E. Synthetic particles as contaminants in German beers. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 2014;31(9):1574-8. doi: 10.1080/19440049.2014.945099. Epub 2014 Aug 11. PMID: 25056358.
44. Kutralam-Muniasamy G, Pérez-Guevara F, Elizalde-Martínez I, Shruti VC. Branded milks - Are they immune from microplastics contamination? *Sci Total Environ*. 2020;714:136823. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.136823. Epub 2020 Jan 20. PMID: 31991276.

45. Prata JC, Paço A, Reis V, da Costa JP, Fernandes AJS, Da Costa FM et al. Identification of microplastics in white wines capped with polyethylene stoppers using micro-Raman spectroscopy. *Food Chem.* 2020 Nov 30;331:127323. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127323. Epub 2020 Jun 11. PMID: 32554310.
46. Prata JC, Paço A, Reis V, da Costa JP, Fernandes AJS, da Costa FM et al. Comment on recent article "Identification of microplastics in white wines capped with polyethylene stoppers using micro-Raman spectroscopy", published in *Food Chemistry* (2020). *Food Chem.* 2021;342:128363. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128363. Epub 2020 Oct 13. PMID: 33268163.
47. European Food Safety Authority (EFSA), autores. Draft update of the risk assessment of di-butylphthalate (DBP), butyl-benzyl-phthalate (BBP), bis (2- ethylhexyl)phthalate (DEHP), di-isononylphthalate (DINP) and di-isodecylphthalate (DIDP) for use in food contact materials [Internet]. Parma: European Food Safety Authority (EFSA); 2019 [citado 21 Mar 2021]. Disponible en: https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/consultation/consultation/Phthalates_in_plastic_FCM_draft_opinion_for_public_consultation.pdf
48. Hernandez LM, Xu EG, Larsson HCE, Tahara R, Maisuria VB, Tufenkji N. Plastic Teabags Release Billions of Microparticles and Nanoparticles into Tea. *Environ Sci Technol.* 2019;53(21):12300-12310. doi: 10.1021/acs.est.9b02540. Epub 2019 Sep 25. PMID: 31552738.
49. Matovu H, Sillanpää M, Ssebugere P. Polybrominated diphenyl ethers in mothers' breast milk and associated health risk to nursing infants in Uganda. *Science of The Total Environment.* 2019; 692: 1106-1115. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.335.
50. Halden RU. Plastics and health risks. *Annu Rev Public Health.* 2010;31:179-94. doi: 10.1146/annurev.publhealth.012809.103714. PMID: 20070188.

51. Wick P, Malek A, Manser P, Meili D, Maeder-Althaus X, Diener L et al. Barrier capacity of human placenta for nanosized materials. *Environ Health Perspect.* 2010;118(3):432-6. doi: 10.1289/ehp.0901200. Epub 2009 Nov 12. PMID: 20064770; PMCID: PMC2854775.
52. Bouwmeester H, Hollman PCH, Peters RJB. Potential Health Impact of Environmentally Released Micro- and Nanoplastics in the Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology. *Environ. Sci. Technol.* 2015;49(15):8932–8947. doi: 10.1021/acs.est.5b01090.
53. Wang Q, Bai J, Ning B, Fan L, Sun T, Fang Y, et al. Effects of bisphenol A and nanoscale and microscale polystyrene plastic exposure on particle uptake and toxicity in human Caco-2 cells. *Chemosphere.* 2020;254:126788. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126788. Epub 2020 Apr 14. PMID: 32334251.
54. Yan X, Zhang Y, Lu Y, He L, Qu J, Zhou C, et al. The Complex Toxicity of Tetracycline with Polystyrene Spheres on Gastric Cancer Cells. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(8):2808. doi: 10.3390/ijerph17082808. PMID: 32325809; PMCID: PMC7216245.
55. Schwabl P, Köppel S, Königshofer P, Bucsecs T, Trauner M, Reiberger T, et al. Detection of Various Microplastics in Human Stool: A Prospective Case Series. *Ann Intern Med.* 2019;171(7):453-457. doi: 10.7326/M19-0618. Epub 2019 Sep 3. PMID: 31476765.
56. Barbosa F, Adeyemi JA, Zuccherato M, Comas A, Campiglia A. A critical viewpoint on current issues, limitations, and future research needs on micro- and nanoplastic studies: From the detection to the toxicological assessment. *Environmental Research.* 2020;182(109089).
57. Amereh F, Babaei M, Eslami A, Fazelipour S, Rafiee M. The emerging risk of exposure to nano(micro)plastics on endocrine disturbance and reproductive toxicity: From a hypothetical scenario to a global public health challenge. *Environmental Pollution.* 2020; 261(114158). doi: 10.1016/j.envpol.2020.114158.

58. Van Raamsdonk LWD, Van der Zande M, Koelmans AA, Hoogenboom RLAP, Peters RJB, Groot MJ, et al. Current Insights into Monitoring, Bioaccumulation, and Potential Health Effects of Microplastics Present in the Food Chain. *Foods*. 2020;9(1):72. doi: 10.3390/foods9010072. PMID: 31936455; PMCID: PMC7022559.
59. Cheryl Qian Ying Yong, Suresh Valiyaveetill, Bor Luen Tang. Toxicity of Microplastics and Nanoplastics in Mammalian Systems. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020; 17(5): 1509. doi: 10.3390/ijerph17051509.
60. Zhang N, Li YB, He HR, Zhang JF, Ma GS. You are what you eat: Microplastics in the feces of young men living in Beijing. *Sci Total Environ*. 2021;767:144345. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144345. Epub 2020 Dec 31. PMID: 33434834.
61. Dziubanek G, Marchwińska E, Hajok I, Piekut A. Inhalation Exposure to Dioxins and dl-PCBs Depending on the Season in Upper Silesia, Poland: A Pilot Study. *Cent Eur J Public Health*. 2016;24(2):115-9. doi: 10.21101/cejph.a4286. PMID: 27434241.
62. Sun K, Song Y, He F, Jing M, Tang J, Liu R. A review of human and animals exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: Health risk and adverse effects, photo-induced toxicity and regulating effect of microplastics. *Sci Total Environ*. 2021;773:145403. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145403. Epub 2021 Jan 28. PMID: 33582342.
63. Naik RK, Naik MM, D'Costa PM, Shaikh F. Microplastics in ballast water as an emerging source and vector for harmful chemicals, antibiotics, metals, bacterial pathogens and HAB species: A potential risk to the marine environment and human health. *Mar Pollut Bull*. 2019;149:110525. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110525. Epub 2019 Aug 27. PMID: 31470206.
64. Du F, Cai H, Zhang Q, Chen Q, Shi H. Microplastics in take-out food containers. *Journal of Hazardous Materials*. 2020; 399(122969). doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122969.

65. Hussain N, Jaitley V, Florence AT. Recent advances in the understanding of uptake of microparticulates across the gastrointestinal lymphatics. *Adv Drug Deliv Rev.* 2001;50(1-2):107-42. doi: 10.1016/s0169-409x(01)00152-1. PMID: 11489336.
66. Shruti VC, Pérez-Guevara F, Elizalde-Martínez I, Kutralam-Muniasamy G. Toward a unified framework for investigating micro(nano)plastics in packaged beverages intended for human consumption. *Environ Pollut.* 2021;268(Pt A):115811. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115811. Epub 2020 Oct 12. PMID: 33099200.

ANEXOS

Tabla 6: Recopilación de las bebidas en las cuáles se ha evidenciado la presencia de MPs

Referencia	Producto	Concentración media de MPs	Polímeros hallados	Año	Lugar del estudio
OMS (23)	Agua potable	0-10 ⁴ partículas/L	-	2019	Suiza
Mason SA (29)	Agua embotellada	325 partículas/L	-	2018	EEUU
Zuccarello P (35)	Agua embotellada	100-3000 mg/L	-	2019	Italia
Xue-jun Zhou (36)	Agua embotellada	402 partículas/L	PET, PE, PS y PA	2021	China
Obmann BE (39)	Agua embotellada en diferentes formatos	2649–6292 (±2857-10521) partículas/L	PET, PP, PVC, PA, PTFE	2018	Alemania
Azoulay D (11)	Agua de grifo	5,45 partículas/L	-	2019	EE. UU.
Shruti VC (41)	Fuentes de agua potable	18 (±7) microplásticos/L	PET y resinas epoxi	2020	Reino Unido
Liebezeit G (43)	Cerveza	2-109 partículas/L	-	2014	Alemania
Shruti VC (30)	Cerveza	152 (±50,97) partículas/L	PA, PEA y PET	2020	México
Díaz-Basantes MF (22)	Cerveza artesanal e industrial	32 y 47 partículas/L respectivamente	PP, PEBD, PEAD y PAM	2020	Ecuador

Referencia	Producto	Concentración media de MPs	Polímeros hallados	Año	Lugar del estudio
Kutralam-Muniasamy G (44)	Leche de marca para adultos e infantil	6,5±2,3 partículas/L y 7 (±2,83) partículas/L respectivamente	Polietersulfona (PES) y Polisulfona (PSU)	2020	México
Díaz-Basantes MF (22)	Leche desnatada	40 partículas/L	PP, PEBD, PEAD y PAM	2020	Ecuador
Prata JC (45)	Vino blanco	183±123 partículas/L	PE	2020	Portugal
European Food Safety Authority (EFSA) (47)	Vino	> 0.010 mg/L	DEHP, BBP y DBP	2014	Francia
Shruti VC (30)	Té	11±5,26 partículas/L	PA y PEA	2020	México
Hernandez LM (48)	Té	2,3 millones partículas (> 1 µm)/taza	PET y nylon	2019	EE. UU.
Shruti VC (30)	Bebidas carbonatadas	40 (±24,53) partículas/L	PA, PEA y ABS	2020	México
Díaz-Basantes MF (22)	Bebidas carbonatadas	32 partículas/L	PP, PEBD, PEAD y PAM	2020	Ecuador
Shruti VC (30)	Bebidas energéticas	14 (±5,79) partículas/L	PA, PEA y ABS	2020	México