



LOS PELLETS DE PLÁSTICO HALLADOS EN LAS PLAYAS POR TODO EL MUNDO CONTIENEN SUSTANCIAS QUÍMICAS TÓXICAS

Autores principales:

Therese Karlsson, Ph.D.

Sara Brosché, Ph.D.

Mona Alidoust, Msc.

Prof. Hideshige Takada, Ph.D.

Diciembre de 2021



International
Pellet Watch

IPEN
por un futuro sin tóxicos

LOS PELLETS DE PLÁSTICO HALLADOS EN LAS PLAYAS POR TODO EL MUNDO CONTIENEN SUSTANCIAS QUÍMICAS TÓXICAS

DICIEMBRE DE 2021

Autores

Therese Karlsson, Ph.D.¹, Sara Brosché, Ph.D.¹, Mona Alidoust, Msc.², Professor Hideshige Takada, Ph.D.²

1 Red Internacional de Eliminación de Contaminantes (IPEN), Suecia ; 2 International Pellet Watch/Universidad de Tokyo



IPEN (Red Internacional de Eliminación de Contaminantes) es una red de más de 600 organizaciones no gubernamentales que trabajan en más de 120 países para reducir y eliminar los daños a la salud humana y al medio ambiente producidos por sustancias químicas tóxicas. La campaña de IPEN contra las sustancias químicas tóxicas en los plásticos busca eliminar los daños provenientes de las sustancias químicas en los plásticos cuando éstos se producen, se utilizan, se reciclan y eliminan.

ipen.org



International Pellet Watch es un grupo de investigación ecotoxicológica sin fines de lucro cuya misión es monitorear los contaminantes orgánicos persistentes (COP), los desechos plásticos y los pellets de plástico, en todo el mundo. Con sede en la Universidad de Agricultura y Tecnología de Tokio y el Laboratorio de Geoquímica Orgánica, también en Tokio, desde 2005 el grupo ha estado recopilando datos y educando al público sobre los peligros de los desechos plásticos.

www.pelletwatch.org

ISBN: 978-1-955400-16-9

© 2021. Red Internacional de Eliminación de Contaminantes (IPEN). Todos los derechos reservados.

Equipo analítico: Karolina Brabcová, Minami Kitayama, Natsuki Kitayama, Sarah Ozanová y Jitka Straková.

Equipo de producción de IPEN: Björn Beeler, Betty Wahlund y Tim Warner.

Favor de citar esta publicación como:

Karlsson, T., Brosché, S., Alidoust, M. y Takada, H. *Los pellets de plástico hallados en las playas por todo el mundo contienen sustancias químicas tóxicas*. International Pollutants Elimination Network (IPEN), Diciembre de 2021.

A IPEN e IPW les gustaría reconocer que se produjo este documento con las contribuciones financieras del Gobierno de Suecia, de Plastic Solutions Fund (Fondo de Soluciones para el Plástico), un proyecto de los asesores filantrópicos Rockefeller Philanthropy Advisors, entre otros donantes. Los puntos de vista expresados en este documento no necesariamente reflejan la opinión oficial de ninguno de los donantes.



Foto: AMSETox, Marruecos

CONTRIBUIDORES

Argentina: BIOS Quilmes

Australia: National Toxics Network Inc. (NTN)

Azerbaiján: Ruzgar

Bangladesh: Environment and Social Development Organization (ESDO)

Camerún: World Action Phyto Protection (WAPP)

Costa Rica: Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAPAL) y Iret-UNA

Estados Unidos: Alaska Community Action on Toxics and Wild at Heart Legal Defense Association (Taiwan)

Filipinas: EcoWaste Coalition

Guinea: Carbone Guinée

India: Centre for Innovation in Science and Social Action (CIS-SA)

Indonesia: Indowater

Jamaica: The Caribbean Poison Information Network (CARPIN)

Kazajistán: Eco Mangystau

Kenia: Center for Justice, Governance and Environmental Action (CJGEA)

Líbano: Human Environmental Association for Development (HEAD)

Malasia: Consumers Association of Penang (CAP)

Marruecos: Moroccan Association of Health, Environment, and Toxicovigilance (AMSETox)

México: Asociación Ecológica Santo Tomás

Mozambique: Justicia Ambiental

Nueva Zelanda/Aotearoa: Algalita

Nigeria: Foundation for the Conservation of the Earth (FOCONE)

Palestina: Palestinian Environmental Friends Association

Polonia: Buy Responsibly Foundation

República Checa: Arnika

República del Congo: Action sur l'Environnement et le Développement (AED)

República de Mauricio: PAN Mauritius

Rumanía: Mare Nostrum

Senegal: Association pour la Défense de l'Environnement et des Consommateurs (ADEC)

Sri Lanka: Centre for Environmental Justice (CEJ)

Tailandia: Ecological Alert and Recovery Thailand (EARTH)

Tanzania: Tanzania Alliance for Biodiversity (TABIO)

Túnez: Association d'Education Environnementale pour la Future Génération (AEEFG)

Turquía: Health and Environment Alliance (HEAL)

Vietnam: Research Centre for Gender, Family and Environment in Development (CGFED)

CONTENIDO

Mensajes clave	5
Antecedentes	6
Las sustancias químicas añadidas durante la producción	6
Los contaminantes químicos adsorbidos por los plásticos	9
Las fuentes y el transporte de los pellets de plástico	10
Objetivo	11
Resultados	15
Los benzotriazoles estabilizadores de rayos UV	15
Los bifenilos policlorados	17
Niveles combinados de contaminantes	19
Discusión	20
Los benzotriazoles estabilizadores de UV	20
Los bifenilos policlorados	22
Conclusiones y recomendaciones	24
Recomendaciones	24
Referencias	26

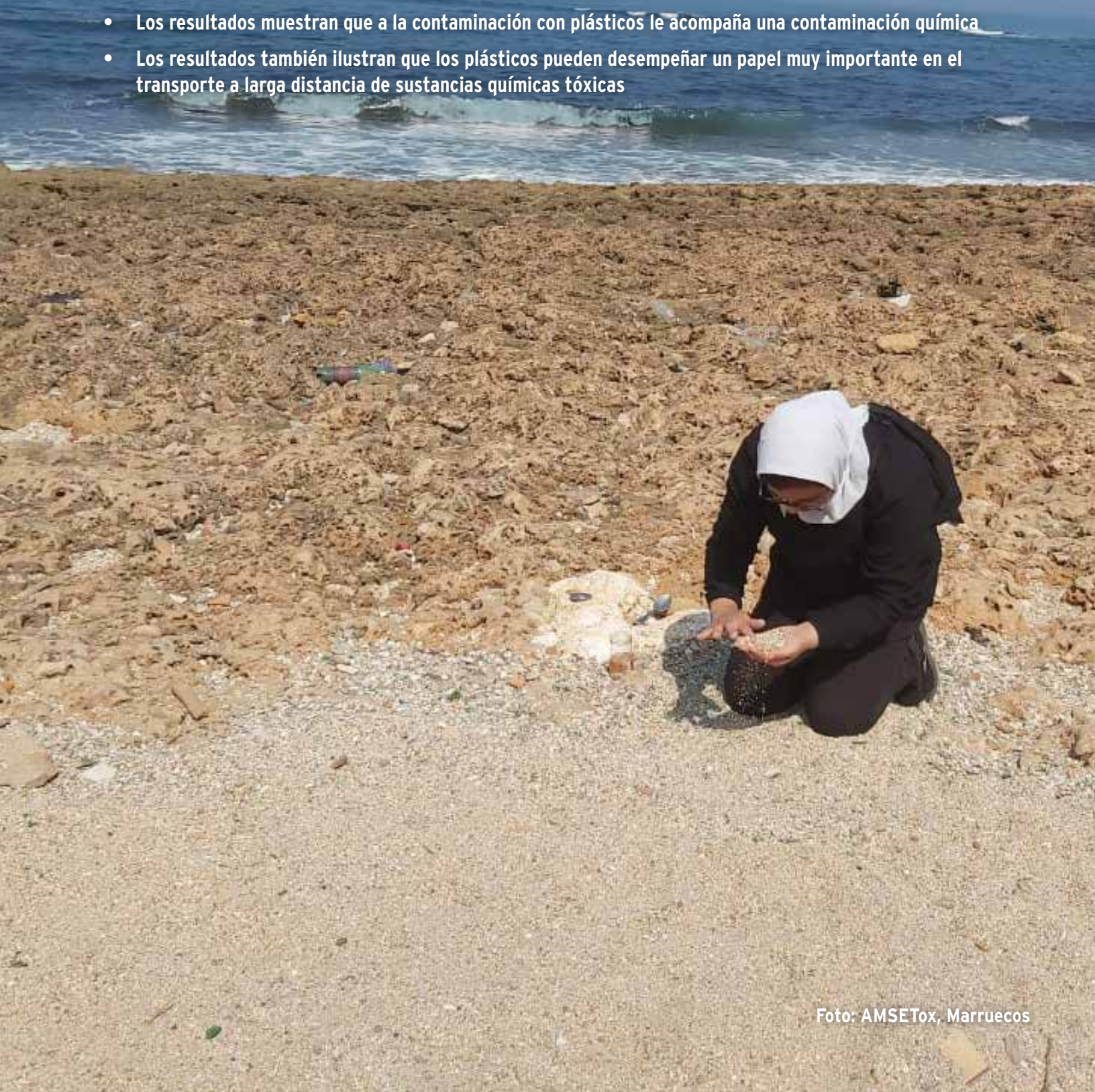
RESUMEN

Aunque se utilizan los plásticos de preproducción, del tamaño de una lenteja, conocidos como pellets o nurdles (cápsulas de plástico), para manufacturar productos de plástico, muchas veces se pierden durante la producción, el transporte y el almacenamiento. Desde la década de los años setenta, se han encontrado estos pellets en las playas por todo el mundo. Los pellets pueden transportar muchas sustancias químicas diferentes, tanto aquellas sustancias químicas que se agregan intencionalmente a los plásticos durante su producción como los contaminantes que se les van adhiriendo a los plásticos en el medio ambiente (por adsorción). Algunas de estas sustancias químicas son especialmente preocupantes ya que se sabe que tienen varios efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente. En este estudio, se analizaron pellets de plástico procedentes de 23 países diferentes para identificar el contenido de trece tipos diferentes de bifenilos policlorados (PCB) y de diez benzotriazoles-estabilizadores de rayos ultravioleta (BUV). Aunque desde mediados de la década de los años noventa, se prohibieron los PCB, como parte de la lista de COP conocida como la “docena sucia”, se siguen encontrando en el medio ambiente. Frecuentemente se agregan BUV a los productos plásticos. Sin embargo, se sabe que se lixivian y tienen efectos perturbadores sobre el sistema endocrino. En todas las muestras de todas las localidades que formaron parte del estudio, se encontraron los PCB y BUV que se buscaban, incluyendo UV-328. En los países africanos, las concentraciones en las muestras resultaron particularmente elevadas, lo cual ilustra cómo los países africanos muchas veces llevan una carga pesada de contaminación plástica, a pesar de no ser productores principales de sustancias químicas ni de plásticos. Los resultados de este estudio claramente muestran que los plásticos hallados en las playas no sólo implican la contaminación física de basura plástica, sino además son contaminantes químicos bajo la forma de sustancias químicas añadidas y/o adsorbidas. Más aún, los resultados ilustran que los plásticos pueden desempeñar un papel muy importante en el transporte a larga distancia de sustancias químicas tóxicas.



MENSAJES CLAVE

- Los plásticos de todas las localidades muestreadas contienen los diez benzotriazoles-estabilizadores de rayos UV analizados, incluyendo UV-328
- Los plásticos de todas las localidades muestreadas también contienen los trece bifenilos policlorados analizados
- Las concentraciones resultaron particularmente elevadas en los países africanos, a pesar de que no son productores principales de sustancias químicas ni de plásticos
- Los resultados muestran que a la contaminación con plásticos le acompaña una contaminación química
- Los resultados también ilustran que los plásticos pueden desempeñar un papel muy importante en el transporte a larga distancia de sustancias químicas tóxicas



ANTECEDENTES

Desde hace más de 50 años, se tiene conocimiento del problema de los pellets de plástico que se descargan o derraman en el medio ambiente durante la producción o el transporte. Los pellets de plástico son partículas pequeñas, de diferentes colores, que miden entre 2 y 5 mm. Se les puede producir con diferentes polímeros plásticos y se les utiliza para manufacturar productos plásticos. Los pellets que se encuentran en las playas son plásticos que se han derramado en el medio ambiente, incluso antes de que se les convierta en productos plásticos.

Desde los inicios de la década de los años setenta, por todo el mundo se han encontrado estos pellets en las playas y en aguas abiertas (Carpenter et al., 1972). Desde entonces, los investigadores han advertido que el aumento de la producción de plásticos, aunado a prácticas inadecuadas de gestión de desechos, llevarían a un aumento en la cantidad de partículas de plástico



en el océano. También concluyeron que las partículas de plástico podrían ser fuente de bifenilos policlorados en cuerpos marinos, con lo cual estaban señalando el peligro potencial de que las partículas plásticas propaguen sustancias químicas tóxicas.

Los pellets de plástico terminan en el medio ambiente debido a derrames ocurridos durante la producción, el transporte y el almacenamiento. También es probable que los pellets se derramen en la tierra, donde la lluvia los lleva a los ríos y áreas costeras, o bien puede que se derramen directamente en el agua debido a accidentes que se puedan dar durante el envío. Una vez en el océano, las corrientes marinas transportan los pellets flotantes y con ellos transportan una amplia gama de sustancias químicas, las cuales les fueron añadidas a los pellets durante la producción o bien se tratan de contaminantes ambientales como PCB que los pellets van adsorbiendo en el océano (se les van adhiriendo).

LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS AÑADIDAS DURANTE LA PRODUCCIÓN

Las sustancias utilizadas en los plásticos incluyen los componentes con los que se manufacturan los plásticos, es decir, los polímeros y los monómeros de plástico, así como los aditivos. Los aditivos son una variedad de sustancias químicas que se utilizan para darle a los plásticos propiedades y colores específicos, además de protegerlos contra la radiación de rayos ultravioleta (UV) que causan que se degrade el plástico. Típicamente, los aditivos no se enlazan con los polímeros mismos, lo cual implica que se pueden lixiviar de los plásticos durante la producción, el uso, el reciclado y las fases de eliminación de los plásticos.

Una revisión sistemática reciente descubrió que en la producción de los plásticos se utilizan más de 10,000 sustancias químicas (Wiesinger et al., 2021). De estas, se identificaron 2,486 sustancias de preocupación potencial, aunque los resultados de la revisión sugieren que menos de la mitad de esas sustancias (47%) se les debe someter a alguna medida de gestión de riesgos (Wiesinger et al., 2021).

Las sustancias químicas que viajan con los plásticos se pueden lixiviar al medio ambiente y existen estudios que confirman la presencia de sustancias químicas típicamente asociadas con los plásticos derramados



Foto: CGFED, Vietnam

Pellets de plástico son pequeñas partículas de plástico, de aproximadamente 2-5 mm (como del tamaño de una lenteja).

A los pellets también se les llama nurdles y a veces se les llama lágrimas de sirena.

en las arenas de las playas (Kwon et al., 2015; Kwon et al., 2020), en aves marinas (por ejemplo, Tanaka et al., 2019; Tanaka et al., 2020; Yamashita et al., 2021), y en varias especies de peces (por ejemplo, Lu et al., 2016; Lu et al., 2019; Salvaggio et al., 2019; Peng et al., 2021).

Se ha demostrado que varias de las sustancias químicas que se lixivian de los plásticos tienen efectos tóxicos (Zimmerman et al., 2021). En última instancia, esto significa que cualquier tipo de plástico puede contener una gran colección de sustancias químicas potencialmente dañinas, muchas de las cuales permanecen sin regular.

Los estabilizadores de rayos UV se encuentran entre los aditivos plásticos más comunes. Según, Wiesinger y colegas (2021), en los productos de plástico se utilizan 762 “estabilizadores de luz”. Los benzotriazoles estabilizadores de luz ultravioleta (BUV) son un grupo de estabilizadores de luz que se utilizan comúnmente no sólo en plásticos, sino también en varias otras aplica-

ciones, como protectores solares, cosméticos y revestimientos.

Al igual que otros aditivos para plástico, frecuentemente se encuentran los BUV en el medio ambiente, por ejemplo, en los mariscos (Kim et al., 2011), en los sedimentos de los ríos (Kameda et al., 2011), en los sedimentos marinos (Apel et al., 2018) y en aguas residuales (Lu et al., 2017). También se les encuentra en los plásticos hallados en las playas, como basura plástica que la marea lleva del mar a la playa (Rani et al., 2017; Tanaka et al., 2020). Más aún, algunos estudios sugieren que los BUV son persistentes en el medio ambiente (Ruan et al., 2012). En tanto que los BUV son típicamente hidrofóbicos, por lo que tienen una mayor afinidad por los lípidos que por el agua, además tienen el potencial de bioacumulación en los lípidos de los organismos y estudios sobre los diferentes niveles tróficos en la cadena alimentaria marina confirman que los BUV son persistentes y se bioacumulan (Nakata et al., 2009). Su hidrofobicidad también les da una afinidad por adherirse a la basura plástica en el medio

TABLA 1. RESUMEN DE INFORMACIÓN SOBRE LOS BUV MUESTREADOS PROVENIENTE DE LA BASE DE DATOS DE LA AGENCIA EUROPEA DE SUSTANCIAS QUÍMICAS (ECHA)

	Nombre en la base de datos	Utilizado en:	Toxicidad	PBT	SEP	COP
UV-P	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-p-cresol	Productos para revestimientos, selladores, materiales basados en plástico	Muy tóxico para la vida acuática con efectos duraderos. Puede causar reacciones alérgicas en la piel.	bajo evaluación	-	-
UV-PS	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4-tert-butilfenol	No hay datos públicos registrados	Desconocida	-	-	-
UV-9	Oxibenzona	Cosméticos y productos para el cuidado personal, productos para revestimientos, rellenos, masillas, cerámica para modelar, pintura para dedos	Muy tóxico para la vida acuática con efectos duraderos	bajo evaluación	-	-
UV-234	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-bis(1-metil-1-feniletil)fenol	Productos para revestimientos	Desconocida	bajo evaluación	-	-
UV-320	2-benzotriazol-2-yl-4,6-di-tert-butilfenol	Plásticos como PVC y poliéster	Dañino para la vida acuática con efectos duraderos. Puede causar daño a los órganos a través de la exposición prolongada o repetida, se sospecha que causa cáncer.	Sí	Sí	-
UV-326	Bumetrizol	Productos para revestimiento, adhesivos, selladores, productos de limpieza y lavado	Desconocida	bajo evaluación	-	-
UV-327	2,4-di-tert-butil-6-(5-clorobenzotriazol-2-yl)fenol	Productos para revestimiento, plásticos, hule y poliuretanos, cosméticos, materiales en contacto con alimentos, adhesivos [1]	Dañino para la vida acuática con efectos duraderos. Causa irritación a la piel, los ojos y el sistema respiratorio.	bajo evaluación	-	-
UV-328	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-ditertpentilfenol	Productos para revestimiento, productos para el cuidado del aire, adhesivos y selladores, lubricantes y grasas, líquido para pulir y ceras, y productos de limpieza y lavado	Puede causar efectos dañinos duraderos a la vida acuática. Puede causar daño a los órganos a través de la exposición prolongada o repetida.	Sí	Sí	bajo evaluación
UV-329	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4-(1,1,3,3-tetrametilbutil)fenol	Productos para el cuidado del aire, productos para revestimientos, adhesivos y selladores, lubricantes y grasas, líquido para pulir y ceras, y productos de limpieza y lavado	Desconocida	bajo evaluación	-	-
UV-350	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4-(tert-butil)-6-(sec-butil)fenol	Productos para revestimiento, plásticos, hule y poliuretanos, cosméticos, materiales en contacto con alimentos, adhesivos [1]	Puede causar efectos dañinos duraderos a la vida acuática. Puede causar daño a los órganos a través de la exposición prolongada o repetida.	bajo evaluación	Sí	-

TPB= Sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulativas

SEP= Sustancias extremadamente preocupantes

COP= contaminantes orgánicos persistentes

[1] Los datos sobre su uso no aparecen en las listas de la base de datos, sino que se detallan en ECHA 2020. Base de datos: echa.europa.eu

ambiente, por lo que es probable que las mediciones de las concentraciones de BUV en la basura marina sean una combinación de aditivos y BUV adsorbidos.

Las partículas plásticas aparecen muy frecuentemente en las aves marinas. De hecho, hasta 2020, se reportó que 180 especies de aves marinas habían ingerido plásticos (Kuhn y Franeker, 2020). En algunos casos, la ingesta de partículas plásticas puede causar daños físicos, e incluso la muerte, a través de obstruir el tracto gastrointestinal, llevando al organismo en cuestión a morir de inanición (Pierce et al., 2004; Roman et al., 2019b), así como puede aumentar la incidencia de quistes (Roman et al., 2019c). La ingesta de pellets por parte de las aves, también les puede dar una ruta de exposición a las sustancias químicas utilizadas en los plásticos. En las aves marinas, muchas veces se encuentran aditivos plásticos como los BUV (Tanaka et al., 2019; Tanaka et al., 2020b; Yamashita et al., 2021). Las investigaciones recientes muestran que aunque las aves se expongan a los BUV a través de la ingesta de alimentos, la lixiviación de las partículas plásticas ingeridas es otra vía importante de exposición (Tanaka et al., 2020b; Yamashita et al., 2021).

También se han encontrado BUV en los humanos, como en la leche materna (Kim et al., 2019), en la orina (Asimakopoulous et al., 2013), y en tejidos grasos (Wang et al., 2015), y varios BUV potencialmente pueden perturbar el sistema endocrino (Sakuragi et al., 2021). Más aún, se está evaluando si varios BUV son persistentes, se bioacumulan y son tóxicos (PBT) (base de datos de ECHA, 2021), y también se está evaluando si el estabilizador UV-328 es un contaminante orgánico persistente (COP) que debería de incluirse en la lista del Convenio de Estocolmo. Se han estudiado algunos BUV más que otros, y la Tabla 1 presenta un resumen de la información sobre los diez BUV incluidos en este estudio.

LOS CONTAMINANTES QUÍMICOS ADSORBIDOS POR LOS PLÁSTICOS

Las sustancias químicas que no se añaden intencionalmente a los pellets, se pueden adsorber en los plásticos que se encuentran en el medio ambiente, incluyendo el legado de COP, como los PCB (Yamashita et al., 2018). Se han utilizado los PCB en diferentes aplicaciones, incluyéndolos en transformadores, intercambiadores térmicos, papel, plásticos, aceites lubricantes, y pinturas (Erickson y Karley, 2011). Los PCB consisten en 209 congéneres, de los cuales se encuentran alrededor de 130 PCB en mezclas comerciales (desde di- hasta deca-PCB). Entre 1930 y 1990, se produjeron más

de 1.3 millones de toneladas de mezclas técnicas de PCB (Breivik et al., 2007). Debido a la toxicidad y la persistencia ambiental de los PCB, en 1972 se detuvo su producción en Japón, luego en Estados Unidos en 1977, y en otros países en 1993 (Breivik et al., 2007), después de haber sido incluidos en la lista de la “doce-na sucia”, un grupo de sustancias químicas clasificadas como COP y prohibidas o restringidas bajo el Convenio de Estocolmo (PNUMA, 2001).

Hoy en día, a pesar de haber sido prohibidos en la mayoría de los países más industrializados, todavía se encuentran PCB en el medio ambiente (Lu et al.,



2021). Desde 2005, International Pellet Watch (IPW) ha utilizado los pellets de plástico hallados en las playas para analizar y monitorear los PCB (<http://www.pelletwatch.org/>) (Takada y Yamashita, 2016; IPW, 2021). Desde diferentes países del mundo, se le envían pellets a IPW para que los analicen. IPW procede a analizar cinco submuestras y utiliza la mediana del valor para clasificar la concentración de PCB en diferentes niveles de contaminación y crear una base de datos de los valores de diferentes partes del mundo. Se ha descubierto que la mediana se correlaciona bien con las concentraciones de PCB en mejillones, según las mediciones de Mussel Watch, un programa de vigilancia y monitoreo de mejillones establecido en la década de los años setenta (Takada y Yamashita, 2016).

Entre las fuentes comunes de PCB en el medio ambiente, en la actualidad, se encuentra la producción no intencional en diferentes industrias, como la industria de la pintura (Anh et al., 2021), derrames de los transformadores eléctricos y de sitios contaminados,

y la eliminación y el reciclado de desechos. El reciclado de desechos ha afectado de manera especial a los países asiáticos menos industrializados que, antes de 2017, recibían más del 80% de los desechos electrónicos globales (Lu et al., 2021). Más aún, debido a que muchas edificaciones se construyeron antes de las prohibiciones, los PCB muchas veces aparecen en el aire acondicionado de espacios interiores, incluyendo el aire acondicionado de los edificios escolares, lo cual es preocupante ya que los niños son más sensibles a los efectos tóxicos asociados con los PCB (Marek et al., 2017). Adicionalmente, los PCB existen como contaminantes de legado en el medio ambiente, muchas veces acumulándose en los sedimentos donde se pueden volver a suspender en la columna de agua (Ogata, 2009).



Foto: Sören Funk, Unsplash.com

Los PCB se asocian con varios efectos negativos para el medio ambiente y la salud humana, y en 2015, los PCB quedaron clasificados como carcinógenos para los humanos (IARC, 2015). Además, aunque los prohibieron desde hace años, un estudio realizado en 2018 mostró que siguen amenazando la viabilidad a largo plazo de la mayor parte de la población de orcas (Desforges et al., 2018). También se encuentran frecuentemente en aves marinas (Yamashita et al., 2018; Yamashita et al., 2021), y un estudio global de los PCB en las aves marinas halló concentraciones que van de 1 a 60 000 ng/g de lípidos (Yamashita et al., 2018).

Aunque no se han dilucidado plenamente los efectos sobre los organismos que ingieren microplásticos con PCB adsorbido, y lo significativo que es ese camino en comparación con otros caminos, un estudio demostró que los PCB se pueden transferir a los sistemas limpios de digestión simulada en las lombrices de tierra y los bacalaos; no obstante, se informó que la transferencia es bifásica (Nor y Koelmanns, 2019), lo que significa

que si los organismos tuvieran cargas corporales de PCB más bajas, las transferiría de los plásticos al organismo, aunque si tuvieran una carga corporal mayor, los transferiría a los plásticos desde el organismo. Por lo tanto, se puede suponer que los pellets con altas concentraciones de PCB propagan PCB a organismos/áreas menos contaminados y estudios de aves marinas han demostrado que los microplásticos ingeridos pueden transferir sustancias químicas a las aves (Tanaka et al., 2020).

LAS FUENTES Y EL TRANSPORTE DE LOS PELLETS DE PLÁSTICO

Debido a los continuos derrames a pequeña escala y a derrames más grandes que se dan después de algún accidente, los pellets de plástico terminan en el medio ambiente. Los continuos derrames a pequeña escala pueden llegar a representar millones de pellets anuales, de tan solo un sitio de producción, y se les ha relacionado con una falta de rutinas preventivas y con una limitada rendición de cuentas por parte de la industria (Karlsson et al., 2018a).

Los derrames más grandes, por otro lado, muchas veces se deben a accidentes que ocurren durante el transporte. Estos derrames tienen un impacto sobre amplias áreas costeras y los esfuerzos por limpiar los derrames muchas veces se basan en parte o en gran medida en trabajo voluntario. En 2012, en las afueras de Hong Kong, hubo un derrame de 150 toneladas de pellets de plástico en el océano (Rochmann, 2013). Tres meses después del derrame, voluntarios seguían limpiando las playas de esa zona. Todavía seis años después, aún se encontraban grandes montículos de pellets de plástico en las mismas playas (Gravier y Haut, 2020). Independientemente de que la contaminación se dé por pequeños derrames continuos o bien por ocasionales derrames mayores, es un gran desafío lograr la descontaminación de los plásticos, y de las sustancias químicas asociadas con ellos.

El principio de quien contamina paga, significa que la entidad responsable de la contaminación también deberá hacerse cargo de la rehabilitación. Los pellets de plástico entran al medio ambiente incluso antes de que se les convierta en productos plásticos y, por lo tanto, es el productor o bien los subcontratistas contratados para su transporte y/o almacenamiento a quienes les corresponde la responsabilidad de lidiar con la contaminación. Hay varias políticas y regulaciones, tanto internacionales como regionales, que se podrían discutir en relación a la contaminación con pellets de plástico (en el caso de la UE, fueron en parte revisadas por la

Comisión Europea en 2013), (Stensgaard et al., 2017, y Karlsson et al., 2018a). La relevancia de las políticas depende en parte del contexto en el que se derramaron los pellets (es decir, en la tierra o el mar), en parte de lo que contienen, y en parte en si se les considera basura, emisiones industriales, desechos, o productos.

En la práctica, las soluciones para evitar la contaminación ambiental con pellets de plástico muchas veces tienden a ser muy sencillas. Las soluciones sugeridas incluyen el barrido de los sitios de producción y almacenamiento y la creación de barreras como bardas y/o filtros. Aún así, siguen siendo comunes los derrames continuos y accidentales y frecuentemente se hallan pellets de plástico en el medio ambiente.

Una vez que llegan al medio ambiente, puede que los pellets flotantes queden atrapados en playas cercanas al punto de origen del derrame (Karlsson et al., 2018a) y entre las algas marinas (Carmen et al., 2021). No obstante, los pellets y las sustancias químicas con las que se asocian también pueden viajar largas distancias desde el punto de liberación. Se han encontrado pellets de plástico por todo el mundo (Fidra, 2021; Internacional Pellet Watch, 2021), muchas veces en playas que

no están en proximidad de alguna planta de producción de plástico.

Más aún, muchos plásticos flotantes finalmente terminan hundiéndose. Esto se puede deber a las propiedades materiales de los plásticos mismos (es decir que tienen una densidad material mayor que las aguas marinas), o bien porque los plásticos se degradan por las condiciones climáticas y diferentes tipos de plantas crecen en ellos (Karlsson et al., 2018b), o bien porque quedan enredados en otro tipo de basura.

OBJETIVO

El objetivo de este estudio es investigar la presencia y concentración de PCB adsorbidos y de BUV añadidos y adsorbidos en las muestras de pellets hallados en las playas. Se utilizarán los resultados para resaltar las preocupaciones relacionadas con las sustancias químicas asociadas con los pellets de plástico que contaminan el medio ambiente y contribuyen al desarrollo de recomendaciones sobre cómo reducir la contaminación ambiental por pellets de plástico y los contaminantes químicos asociados con los mismos.

EL MÉTODO

Se recogieron pellets de plástico en playas de 31 países. Las muestras las recogieron organizaciones participantes de IPEN. Las organizaciones buscaron pellets en las playas arenosas locales a lo largo de la línea de alta marea.

Se recogieron aproximadamente 100 pellets por localidad. Se envolvieron las muestras en papel de aluminio y se enviaron al laboratorio VSCHT en la República Checa. Ahí, se clasificaron todas las muestras y subsiguientemente se les envió al Laboratorio de Geoquímica Orgánica de la Universidad de Agricultura y Tecnología de Tokio, Japón. De las muestras recopiladas, se analizaron 24 muestras para identificar el contenido de PCB y 22 para identificar el contenido de BUV (Tabla 2).

En el laboratorio en Japón, antes de proceder al análisis, se clasificaron los pellets por medio de un espectrómetro de infrarrojo cercano (Plascan-WTM OPT Research Inc., Tokio, Japón) en: polietileno (PE), polipropileno (PP), y otros polímeros. Se excluyeron los pellets pigmentados del análisis para poder analizar pellets dentro de un rango consistente de degradación ante la exposición a la intemperie, de esta manera se podían elegir los pellets que hubieran alcanzado un grado específico de amarillamiento para su análisis a través de realizar una comparación con respecto a los estándares internos del laboratorio (tal cual se describe en Ogata et al., 2009).

Se recogieron aproximadamente 100 pellets de cada localidad, los cuales se procedió a clasificar según la descripción anteriormente mencionada. De los pellets



La colección de las muestras: Se cernieron los desechos plásticos en la línea de alta marea en busca de pellets de plástico. Se empaclaron, etiquetaron y enviaron para someter a prueba 100 pellets de cada localidad. Fotos: Earth Thailand

TABLA 2. INFORMACIÓN GENERAL DE LAS MUESTRAS

País	Localidad	Muestreado por	Latitud	Longitud	BUV	PCB
Argentina	Av. Félix U. Camet 1629 Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.	Bios Quilmes	S 37°58' 54"	W 057°32'26"	x	x
Australia	Minim Cove	NTN	S 32°01'27"	E 115°46'15"	x	x
Bangladesh	Playa de Kolatoli	ESDO	N 21°14'02"	E 092°02'52"	x	x
Costa Rica	Playa Mantas	Rapal	N 09°42'22"	W 084°39'45"	x	x
Estados Unidos	Cox Creek Texas	Asociación de Defensa Legal Wild at Heart	N 28°41'19"	W 096°31'43"	x	x
Filipinas	Playa Baseco	Ecowaste Coalition	N 14°35'21"	E 120°57'16"		x
Guinea	Benarés	Carbone Guinée	N 09°34'24"	W 13°36'29"	x	x
Jamaica	Fort Clarence	CARPIN	N 17°54'34"	W 076°53'00"	x	x
Kenia	Playa de Baobab	CJGEA	S 03°37'27"	E 39°52'28"	x	x
Malasia	Estrechos de Penang	CAP	N 05°25'36"	E 100°19'35"	x	x
Marruecos	Playa Guy Ville	AMSETox	N 33°56'14"	W 006°56'49"	x	x
México	Playas de Sánchez Magallanes en Cárdenas	Asociación Ecológica Santo Tomás	N 18°18'02"	W 093°50'38"	x	x
Nueva Zelanda / Aotearoa	Estuario Avon Heathcote	Algalita	S 43°32'47"	E 172°42'50"	x	x
Nigeria	Playa Finima	FOCONE	N 04°24'16"	E 007°08'03"	x	x
Polonia	Poddabie	Buy Responsibly Foundation	N 54°37'33"	E 016°58'45"	x	x
República del Congo	Côte Sauvage	AED	S 04°49'18"	E 011°51'00"	x	x
Senegal	Playa De Hann Marinas	ADEC	N14°42'45"	W 017°25'50"	x	x
Sri Lanka	Colombo	CEJ	N 06°58'28"	E 079°52'09"	x	x
Tanzania	Playa Coco	TABIO	S 06°46'28"	E 39°17'01"	x	x
Tailandia	Playa Bang Saen	EARTH	N 13°17'54"	E 100°54'08"	x	x
Tailandia	Playa Mae Ram Phueng	EARTH	N 12°35'32"	E 101°24'53"		x
Túnez	Playa Goulette	AEEFG	N 36°59'42"	E 010°29'03"	x	x
Turquía	Uzunkum Plaiji	HEAL	N 41°10'14"	E 029°38'10"	x	x
Vietnam	Playa Nguyen Tat Thanh	CGFED	N 16°5'29"	E 108°09'04"	x	x

que tenían el nivel correcto de amarillamiento, y que se había confirmado que eran de polietileno, se tomaron cinco submuestras de cinco pellets cada una por localidad para su análisis. Los extractos de los pellets se prepararon con hexano. Los extractos se sometieron a acetilación, seguido de una fraccionación, utilizando cromatografía en columna de gel de sílice. Se cuantificaron los PCB (los congéneres de tetra- a nona-CB) en fracción apolar utilizando un espectrómetro de masas de trampa iónica equipado con un cromatógrafo de gases (GC-MS). Se cuantificaron trece congéneres (CB# 66, 101, 110, 149, 118, 105, 153, 138, 128, 187, 180, 170,

y 206). En Ogata et al. (2009), están disponibles los detalles sobre el método de medición de PCB.

Se midieron los BUV acetilados en la fracción polar a través de un cromatógrafo de gases equipado con un espectrómetro de masas (GC-MS; Agilent 7890A/5977). En Yamashita et al. (2021), están disponibles los detalles del método de análisis.

Todos los BUV se miden a través de utilizar un modo de monitorización de iones seleccionados y se cuantifican con base en el área pico. Se corrigieron las concen-

traciones de UV-326, UV-327, y UV-328 en función de la recuperación de los estándares de marcado isotópicos correspondientes a los estándares etiquetados isotópicamente, mientras que los otros BUV no se corrigieron a efectos de recuperación.

Se realizaron replicaciones de alícuotas de los extractos de los pellets para confirmar la reproductibilidad con un desviación estándar relativa (DER) de los valores analíticos menores al 5% tanto para los PCB como para los BUV. Para los dos tipos de compuestos, las recuperaciones fueron de más de un 80%. Se realizó un blanco de procedimiento para cada uno de los conjuntos de las cinco muestras. Se definió el límite de detección (LDD) como valores analíticos de menos

de tres veces del blanco correspondiente. Para la suma de los trece PCB ($\Sigma 13$ PCB), el LDD normalmente fue 0.3 ng/g. Para los BUV, el LDD varió desde un rango de 0.5 ng/g-pellets para UV-320 hasta 13 ng/g para UV-328.

Para comparar las concentraciones con muestras anteriores, se utilizaron las medianas de los valores. Anteriormente, se había hallado que las medianas de los valores de las cinco submuestras se correlacionan con las concentraciones en los mejillones (Ogata et al., 2009). Adicionalmente, excluye altas concentraciones esporádicas (Yamashita et al., 2019), con lo cual resulta más representativo de la contaminación local.

RESULTADOS

LOS BENZOTRIAZOLES ESTABILIZADORES DE RAYOS UV

En todas las submuestras de todas las localidades, se hallaron todos los BUV analizados. En la mayoría de las submuestras, se hallaron todos los BUV (Figura 1). Las concentraciones más altas se hallaron en las submuestras de Marruecos, Jamaica y el Congo (Figura 3). Si en vez de esto, se observan la medianas de los niveles, las concentraciones más altas se encontraron en las muestras del Congo, Tanzania y Senegal.

Se midieron los BUV en un total de 110 submuestras (5x22). Se analizó cada submuestra en busca de diez BUV diferentes. En las submuestras de todas la localidades, se hallaron los diez BUV analizados. En todas las submuestras, se halló UV-P. En más del 90% de las submuestras, se halló UV-326 a 329, UV-9 y UV-PS. En 80% de las submuestras, se halló UV-350 y en 70%, se halló UV-320 (Figura 1).

En términos de la composición, se hallaron UV-327, UV-326 y UV-9 en las concentraciones más altas. También resultaron tener los promedios y las medianas de valores más altos (Figura 2).

En las submuestras de Marruecos, Jamaica, y el Congo, se hallaron las concentraciones más altas de BUV (Figura 3). Estos tres países también son los países con los promedios más altos. Si en vez se observan las medianas de los niveles de las concentraciones totales de BUV, fueron las muestras del Congo, Tanzania, y Senegal las que mostraron las concentraciones más altas.

Para la mayoría de los países, las mediciones más bajas de las concentraciones totales de BUV fueron menores de 500 ng/g. Australia (528 ng/g), Senegal (520 ng/g), Tanzania (751 ng/g) y el Congo (1258 ng/g) fueron las excepciones.

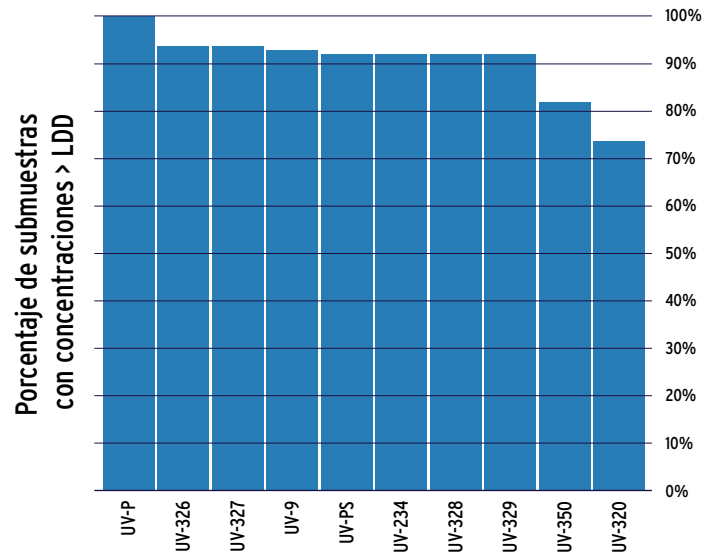


Figura 1. Los BUV en las muestras de pellets.

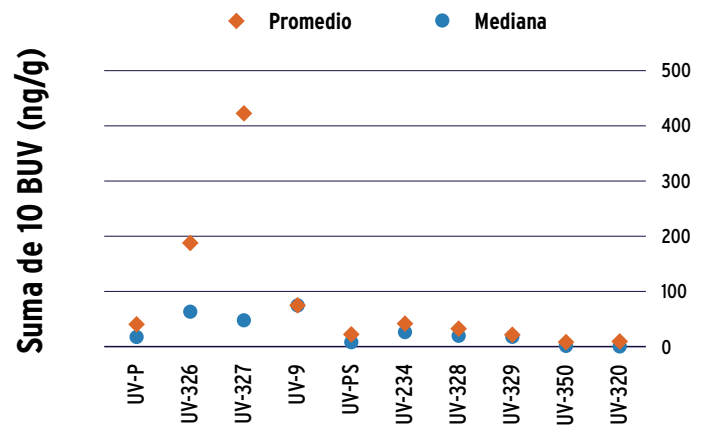


Figura 2. Promedios y medianas de todas las muestras > LDD

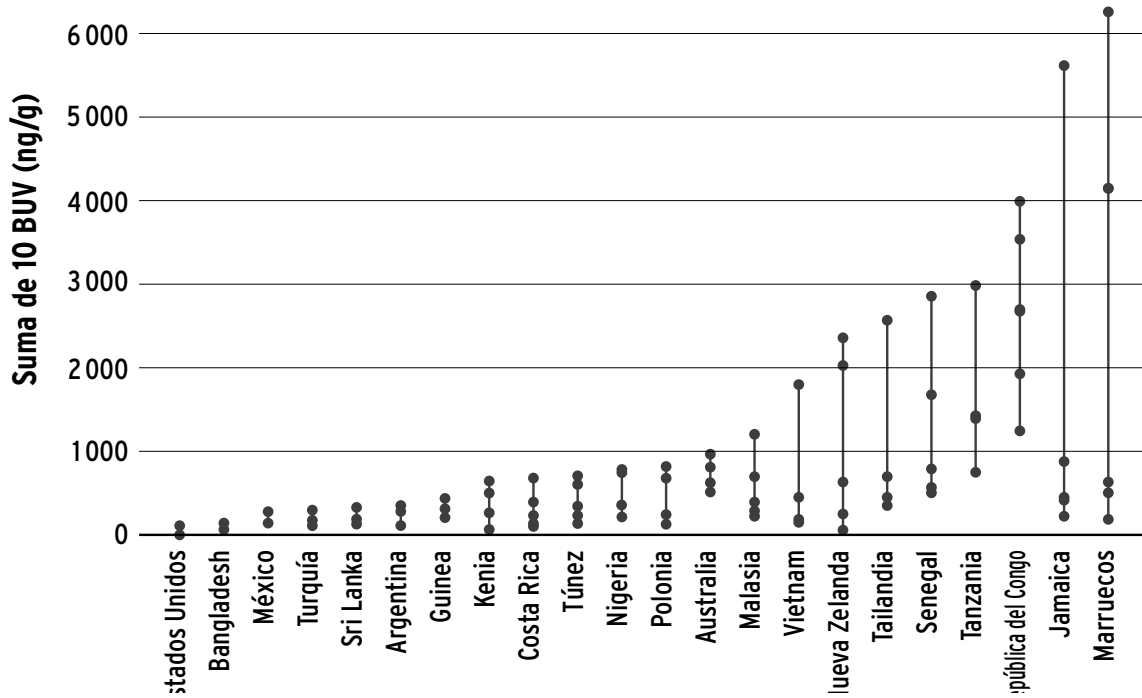


Figura 3. Concentraciones de diez BUV en submuestras de pellets de diferentes países.

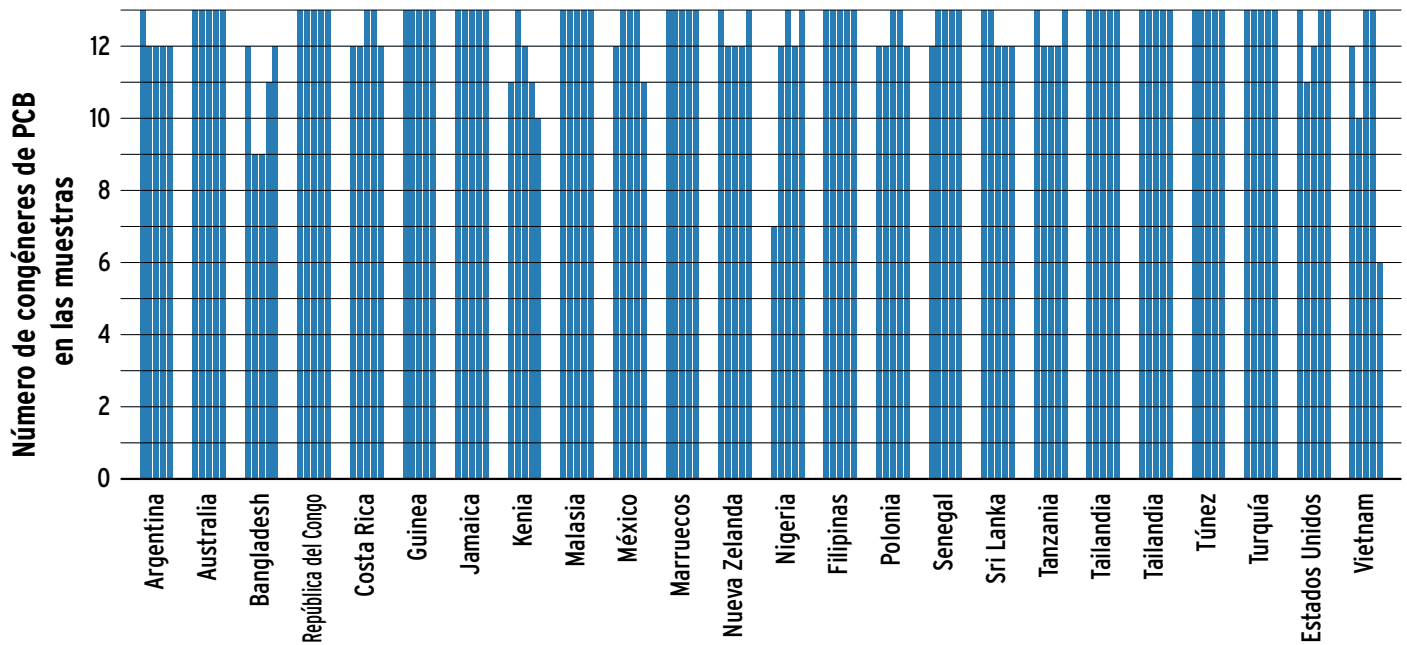


Figura 4. Número de congéneres de los PCB detectados en las muestras (de un total de 13 PCB medidos).

LOS BIFENILOS POLICLORADOS

Todas las 120 submuestras contenían PCB y en las muestras de todas las localidades, estuvieron presentes todos los congéneres de los PCB (Figura 4). Las muestras provenientes de Senegal y Túnez resultaron extremadamente contaminados (Figura 6). Las muestras de Tanzania, el Congo y Marruecos tienen concentraciones que van desde moderadamente contaminadas hasta altamente contaminadas (Figura 6).

En un total de 110 submuestras (5x22), se midieron BUV. Se analizó cada una de las submuestras en busca de los diez BUV diferentes.

En un total de 120 submuestras (5x24), se midieron los PCB. En cada una de las submuestras, se midieron trece diferentes congéneres de PCB. Todas las submuestras tenían PCB y todos los congéneres de PCB medidos estuvieron presentes en muestras de todas las localidades (Figura 4). Un 68% de todas las submuestras tuvo niveles detectables de los trece congéneres de PCB. Con respecto a la composición de los PCB (Apéndice #), en general predominaron los congéneres penta-, hexa- y hepta-CB (es decir, CB110, 138 y 180). Este patrón es similar a los observados en los pellets de otras localidades del mundo (por ejemplo, Hosoda

et al., 2014; Mizukawa et al., 2013; Yeo et al., 2015). La composición detallada varía de una localidad a otra. Sin embargo, se logró identificar un predominio de CB-138 y CB-180 en la mayoría de las muestras y sobre todo en muestras con altas concentraciones de PCB, es decir, procedentes de Senegal, Túnez y Tanzania. En los pellets de estos países, CB-138 representaba más del 50% del total de la mayor parte de las muestras.

Las concentraciones totales de los PCB (la suma de los 13 congéneres) en las muestras de los pellets analizados van desde 1 hasta 4188 ng/g. En relación con las clasificaciones utilizadas internacionalmente por International Pellet Watch, se podría considerar que varias de las submuestras y las medianas de los pellets de Senegal y Túnez están extremadamente contaminadas (Figura 5).

Se estableció en 10 ng/g el nivel de base de la contaminación con PCB, que se deriva del transporte atmosférico y el transporte a grandes distancias de PCB cuando los plásticos flotantes los adsorben. En este estudio, muestras de tres localidades tuvieron concentraciones correspondientes a los niveles de base, como Bangladesh (1-2 ng/g), la playa Baobab en Kenia (3-9 ng/g) y Vietnam (1-10 ng/g) (Figura 6).

La concentración de PCB (ng/g-pellet)

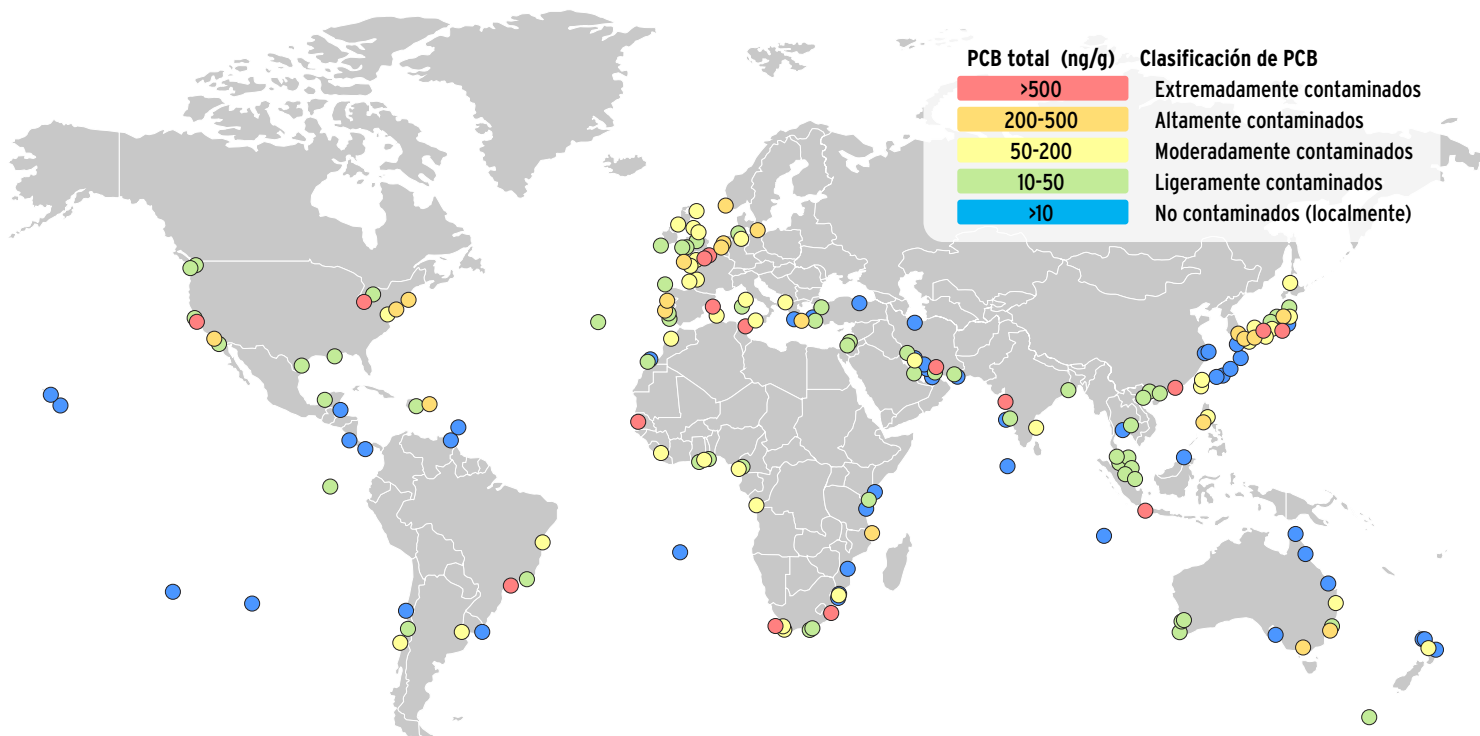


Figura 5. La concentración de PCB (ng/g, mediana de los valores) en pellets de resina de plástico alrededor del mundo, incluyendo muestras del estudio actual.

Figure 6. Sum of 13 PCBs in pellets for all countries.

Abajo: Valores debajo de 500 ng/g. Arriba: Valores ajustados a escala para incluir los niveles más altos sometidos a prueba.

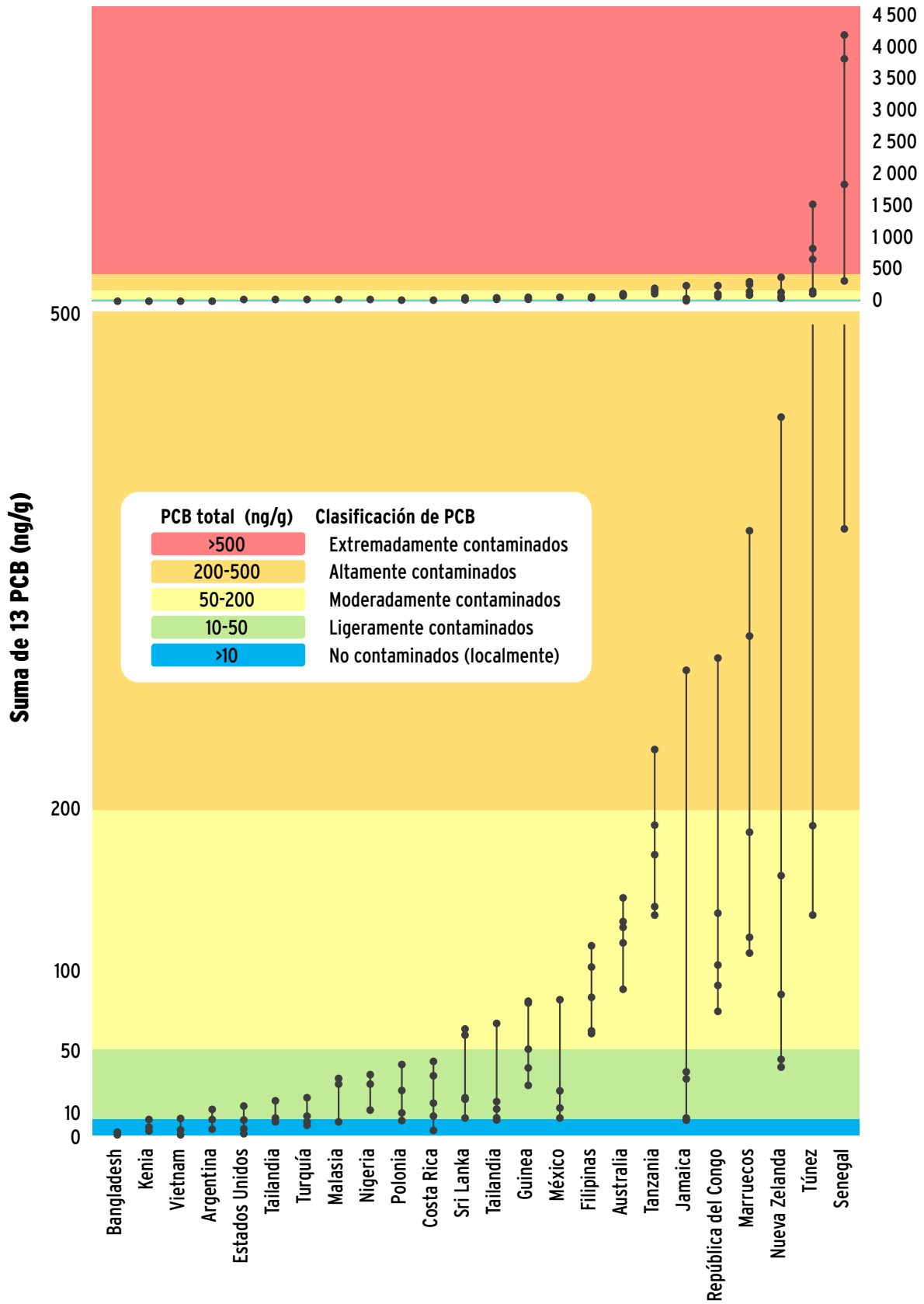




Figura 7. Playa en Congo muestreada por AED Congo.

En Argentina (3-16 ng/g), Cox Creek, Texas, Estados Unidos (1-18 ng/g), Tailandia (9-21 ng/g), Turquía (6-23 ng/g), Malasia (8-35 ng/g) y Costa Rica (3-45 ng/g), las concentraciones en las submuestras van desde un nivel no contaminado a un nivel ligeramente contaminado. En Tailandia (9-68 ng/g), las concentraciones van desde un nivel no contaminado hasta uno moderadamente contaminado.

En Nigeria (15-37 ng/g) y Polonia (10-43 ng/g), todas las submuestras tuvieron concentraciones correspondientes a un nivel ligeramente contaminado.

En Sri Lanka (11-65 ng/g), Guinea (31-82 ng/g) y México (11-83 ng), las concentraciones van entre un nivel ligeramente contaminado y un nivel moderadamente contaminado. En Jamaica (10-286 ng/g) y Nueva Zelanda/Aotearoa (42-442 ng/g),

las concentraciones van desde ligeramente contaminadas hasta altamente contaminadas.

Las submuestras de las Filipinas (62-116 ng/g) y Australia (90-146 ng/g) resultaron moderadamente contaminadas. En Tanzania (135-238 ng/g), el Congo (76-294 ng/g) y Marruecos (112-372 ng/g), las concentraciones van desde un nivel moderadamente contaminado hasta un nivel altamente contaminado y en Túnez (135-1570 ng/g) van de un nivel moderadamente contaminado hasta un nivel extremadamente contaminado. En Senegal (373-4188 ng/g), todas las submuestras resultaron ya sea altamente o extremadamente contaminadas.

NIVELES COMBINADOS DE CONTAMINANTES

Los resultados detallados de los niveles combinados de contaminantes

Las concentraciones de BUV y PCB en los plásticos no necesariamente parecen coincidir con el nivel de contaminación en las playas. En Guinea, por ejemplo, la playa muestreada tenía tanta contaminación plástica que los plásticos cubrían grandes extensiones de la playa misma (Figura 8), sin embargo, las concentraciones de BUV y PCB eran bastante bajas en comparación con algunas de las otras muestras (con concentraciones de PCB entre ligera y moderadamente contaminadas).

Por otro lado, las playas muestreadas en el Congo, no tenían tanta contaminación visual (Figura 7), aunque los pellets muestreados tenían la concentración más alta de BUV de todos los pellets analizados (Figura 3).



Figura 8. Playa en Guinea muestreada por Carbone Guinée.

DISCUSIÓN

En este estudio, se analizó la presencia de aditivos y COP adsorbidos, más específicamente BUV y PCB, en los pellets muestreados en playas de diferentes partes del mundo. En las muestras de todas las localidades, se hallaron todos los BUV y PCB analizados.

LOS BENZOTRIAZOLES ESTABILIZADORES DE UV

Se analizaron diez diferentes BUV en muestras de 22 países. Aunque se hallaron todos los BUV en las muestras de todas las localidades, las concentraciones de los BUV fueron particularmente elevadas en el Congo, Tanzania, Senegal, Marruecos y Jamaica.

Las concentraciones de los BUV individuales en este estudio van de 1 a 5082 ng/g-pellet. En un estudio previo sobre la basura en la playa, recolectada en Corea del Sur, las concentraciones de BUV individuales van de 0.3 a 81 700 ng/g.

La basura en la playa recolectada en Hawái mostró concentraciones que van de 0.2 a 1130 µg/g (200-1 130 000 ng/g). Sin embargo, estos dos estudios analizaron productos plásticos o fragmentos de productos plásticos.

Con respecto a la composición de los BUV, los UV-327 tuvieron la concentración más alta en una submuestra (5082 ng/g) y la concentración promedio más elevada (430 ng/g), estando presentes en 103 de las 110 muestras. Se ha clasificado UV-327 como dañino para la vida acuática y con efectos duraderos. Actualmente, está bajo evaluación para identificar su grado de persistencia, bioacumulación, y toxicidad (PBT) (ECHA 2021). Estudios anteriores han hallado UV-327 en el plasma de los peces lucio del norte (Lu et al., 2016), así como en la basura plástica (Rani et al., 2017; Tanaka et al., 2020a).

Por otro lado, se halló que UV-9 tiene la concentración mediana más elevada (80 ng/g) y se le encontró en 102 de las 110 muestras analizadas. Se ha clasificado el estabilizador UV-9 como muy tóxico para la vida acuá-

tica, con efectos duraderos, y se le está evaluando como PBT (ECHA, 2021). La investigación ha demostrado que el estabilizador UV-9 puede tener efectos estrogénicos (Feng et al., 2020).

En todas las muestras analizadas se encontró el estabilizador UV-P, el cual -al igual que UV-9- es muy tóxico para la vida acuática y tiene efectos duraderos. También se está evaluando el nivel de persistencia, bioacumulación y de toxicidad química que tiene (ECHA, 2021) y a través de estudios in vitro y computacionales se ha demostrado que induce actividad estrogénica (Feng et al., 2020). Anteriormente, se había encontrado en el aceite de la glándula del acicalamiento de las aves marinas (Yamashita et al., 2021). La investigación ha demostrado que puede activar el camino del hidrocarburo de arilos en el pez cebra (Fent et al., 2014) y

en humanos muestra la actividad de los ligandos del receptor de hidrocarburos de arilos. El camino del receptor de hidrocarburos de arilos, es un camino que muchas veces se involucra en la manera en la que los contaminantes ambientales afectan a los animales. Puede

EL HECHO DE QUE SE DETECTARON TODOS LOS BUV MUESTREADOS EN LAS MUESTRAS DE TODAS LAS LOCALIDADES Y QUE SE LES ASOCIE CON VARIOS EFECTOS NEGATIVOS SOBRE LA SALUD HUMANA Y EL MEDIO AMBIENTE, DEMUESTRA QUE LOS BUV COMPARTEN LOS PROBLEMAS ASOCIADOS CON LOS UV-328.

actuar como detonador de diferentes tipos de efectos como desequilibrio hormonal, desequilibrio metabólico, actividad carcinogénica y efectos sobre el desarrollo. El estabilizador UV-P también tiene el potencial para la bioacumulación (Nagayoshi et al., 2015) y ha mostrado actividades antagonistas del receptor de andrógenos, y actividades agonistas del receptor de estrógenos (Sakuragi et al., 2021), lo cual implica que puedan perturbar el equilibrio hormonal a través de interactuar de diferentes maneras con los receptores de estrógenos y andrógenos.

Se descubrió que los estabilizadores de UV 326 tienen la segunda mediana más elevada (67 ng/g) y un promedio de 193 ng/g. Se halló UV-326 en 103 de las 110 muestras y se le está evaluando como PBT (ECHA). Ya se les había encontrado en las muestras de hígado



Foto: Mare Nostrum, Rumania

de focas del Ártico (Lu et al., 2019), en el aceite de la glándula del acicalamiento de las aves marinas (Yamashita et al., 2019), y en la basura de plástico (Rani et al., 2017; Tanaka et al., 2020). Los estabilizadores UV-326, al igual que los estabilizadores UV-9, pueden activar el camino de los hidrocarburos de arilos en los peces cebrá (Fent et al., 2014). Al igual que los estabilizadores UV-9 han demostrado actividad de los ligandos del receptor de los hidrocarburos en humanos con el potencial de acumularse (Nagayoshi et al., 2015).

El estabilizador UV-328 mostró la tercera concentración más elevada encontrada en 101 de las 110 muestras. UV-328 está bajo evaluación como COP y anteriormente se le encontró en muestras de basura plástica (Rani et al., 2017; Tanaka et al., 2020). Se han detectado estabilizadores UV-328 en el tejido del hígado de los fulmarus del norte en el Ártico (Lu et al., 2019), así como de los cormoranes de doble cresta (Lu et al., 2019 b), en el aceite de la glándula del acicalamiento de las aves marinas (Yamashita et al., 2019), en el plasma sanguíneo de los delfines nariz de botella (Lu et al., 2016) y en varias especies de peces (Lu et al., 2016; Lu et al., 2019). Los estabilizadores UV-328 actúan como antagonistas del receptor de estrógeno (Sakuragi et al., 2021). Una vez que se metabolizan, se altera la toxicidad y demuestran tener una potente actividad antiandrogénica (Zhuang et al., 2017). También pueden causar un aumento en la producción de espe-

cies reactivas de oxígeno en las algas *Chlamydomonas reinhardtii* (Giraudo et al., 2017). También se ha demostrado que los estabilizadores UV-328 inducen la transcripción de proteínas ribosomales en las truchas arcoíris juveniles, así como regulan a la baja los genes involucrados en las respuestas inmunológicas (Giraudo et al., 2020).

El estabilizador UV-328 es una sustancia química persistente con una vida media de varios meses, y estudios de suelo han revelado una vida media de 79-223 días (Lai et al., 2014). Tiene una densidad más elevada que la del agua marina, por lo que si se liberan sustancias químicas en las aguas superficiales, se sedimentan y aunque se pueden transportar los sedimentos a grandes distancias, muchas veces se transportan más lentamente que el transporte por aguas superficiales. Sin embargo, debido a que el estabilizador UV-328 frecuentemente se libera al medio ambiente como aditivo en plásticos de baja densidad, se le puede transportar a grandes distancias a través de aguas superficiales, tal cual lo evidencia este estudio, llegando así a encontrarse en los plásticos en las playas de todo el mundo.

Más aún, el hecho de que se detectaron todos los BUV muestreados en todas las localidades, y que se asocian con varios efectos negativos para la salud humana y el medio ambiente, ilustra que se comparten los problemas asociados con los estabilizadores UV-328 con

BUV parecidos. Muchas veces, se evalúan las sustancias químicas una por una, un proceso lento que puede llevar a que se sustituya una sustancia química peligrosa por otra sustancia química igualmente peligrosa debido a una falta de datos sobre esa sustancia química específica. A través de tomar un enfoque basado en una clasificación en clases, se evalúan juntas las sustancias químicas que tienen estructuras y propiedades químicas parecidas. Considerando las muchas similitudes entre los diferentes BUV, y el hecho de que tienen efectos similares, sería preferible utilizar un enfoque basado en la clasificación por clases para los BUV que un enfoque que aborde las sustancias químicas una por una.

LOS BIFENILOS POLICLORADOS

Las concentraciones de BUV y PCB no se correlacionaron entre sí. Sin embargo, al igual que con los BUV, se sometieron a prueba muestras de 24 países para identificar 13 congéneres de PCB y se hallaron todos esos congéneres en todas las localidades. Las concentraciones totales variaron desde los niveles de base de algunas localidades hasta valores extremadamente altos cuando se les compara con muestras globales anteriores (Hirai et al., 2011).

La mayoría de las localidades, 21 de 24 en total, tuvieron muestras con concentraciones de PCB mayores de 10 ng/g-pellet. Esto significa que debe haber una o más fuentes locales de PCB en las inmediaciones de las localidades, o bien que los pellets hayan adsorbido PCB en una localidad y posteriormente hayan llevado los PCB a la playa.

Los niveles extremos y elevados de PCB que se encontraron en varias muestras de África son comparables con los niveles que se encuentran en Estados Unidos, Japón, y ciudades europeas en estudios previos. Se sabe que estas áreas tuvieron un crecimiento económico e industrial acelerado durante los años setenta, haciendo que se produzcan, utilicen y liberen cantidades considerables de PCB en áreas costeras (Karapanagioti et al., 2011; Mizukawa et al., 2013; Ogata et al., 2009; Yeo et al., 2015).

La producción global de los PCB se daba principalmente en Estados Unidos, Europa, y Rusia, y aproximadamente un 97% de la misma se utilizaba en el Hemisferio Norte. África nunca había producido ni utilizado PCB de manera importante, por lo que las concentraciones halladas en el estudio son sencillamente demasiado elevadas como para que se les explique como resultado del uso histórico de los PCB en el continente (Gioia et al., 2011). La muestra de Senegal

mostró concentraciones extremadamente elevadas de PCB. Se recogieron muestras en la playa de De Hann en la bahía Hann, un área rodeada de actividades industriales, localizadas cerca del relleno sanitario de Mbeueuss en la ciudad de Pikine, a 27 kilómetros de Dakar. En 2014, un estudio demostró que los desechos electrónicos de los desguazaderos eran la fuente de PCB en los pellets recogidos en Ghana (Hosoda et al., 2014). En este caso, los desguazaderos podrían haber sido una fuente posible, aunque en nuestro estudio no existe evidencia de fuentes como estas en esta localidad específica.



Foto: AEEFG, Túnez

Túnez tuvo el segundo lugar más alto en las concentraciones de PCB. Se tomaron las muestras en el Golfo de Túnez. No se ha identificado claramente cual es el uso de los PCB en Túnez. En 1986, se prohibió la importación a Túnez de transformadores o de cualquier equipo que contenga PCB. Sin embargo, se sigue utilizando un gran número de transformadores que contienen PCB o se encuentran almacenados bajo condiciones insatisfactorias (Barhoumi et al., 2014). Por lo tanto, existe la posibilidad de que existan otras fuentes locales de PCB.

En las muestras del Sudeste de Asia, observamos concentraciones moderadas en la Playa Baseco, en las Filipinas, con 68 ng/g-pellet, clasificadas como mode-

radamente contaminadas. Sin embargo, la Playa Bang Saen en Tailandia mostró una concentración más baja con 16 ng/g-pellet, que se podría clasificar como ligeramente contaminada. En comparación con la concentración global (ver la Figura 5), el estado de la contaminación en el Sudeste de Asia es comparable con las muestras anteriores analizadas en la misma región.

Las muestras de Jamaica y México tuvieron concentraciones ligeras de 27 ng/g-pellet y 16 ng/g-pellet, respectivamente. Estas dos localidades se ubican en áreas remotas con poca si no es que ninguna actividad industrial dentro del área y se encuentran a una distancia sustancial de cualquier fuente de PCB que explique los niveles de concentración de los PCB detectados.

Sin embargo, se debe de notar que los plásticos pueden haber adsorbido los PCB localmente o en otra localidad antes de haber aterrizado en la playa muestreada. También se ha discutido la relación que tienen las altas concentraciones de PCB adsorbidos en los pellets con el legado de PCB en los sedimentos, por lo cual no necesariamente se ligan con las liberaciones actuales de los PCB. Aunque la adsorción y desorción de los PCB por los pellets es bifásica (lo cual significa que los PCB puede adsorber y desorber plásticos) y busca alcanzar un equilibrio, este proceso toma tiempo (estimado, según Yamashita, 2018, en un año o más). Por lo tanto, no es posible deducir si los plásticos adsorbieron PCB a nivel local o se han transportado desde un área con al-

tas concentraciones de PCB. Si se comparan las medianas de las concentraciones en todo el mundo, aún así las altas concentraciones siguen indicando el potencial de las fuentes locales de PCB.

También es importante notar que se recogieron muestras de una localidad en cada país, máximo de dos, lo cual implica que las muestras no proporcionan una visión general de alta resolución de los contaminantes. Sin embargo, sí proporcionan una imagen instantánea; además, los casos altos y extremos en algunas de las muestras de este estudio indican áreas que potencialmente tienen altos niveles de contaminación con PCB. Por lo tanto, puede que sea necesario realizar esfuerzos de regulación y rehabilitación en estas áreas.

Es importante notar que las muestras analizadas en este estudio provenientes de Marruecos, el Congo, y Senegal tuvieron las cinco concentraciones más altas tanto de BUV como de PCB. Tanzania también tuvo la cuarta concentración más alta de BUV y Túnez, la segunda concentración más alta de PCB. Estos cinco países se localizan en África, donde existe una producción muy limitada de sustancias químicas y plásticos. Este estudio, por lo tanto, demuestra cómo los plásticos atraviesan las fronteras nacionales y resalta la importancia que tienen las colaboraciones internacionales para ponerle fin a la propagación de los plásticos y de sustancias químicas tóxicas en los plásticos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este estudio global, en los pellets de todas las localidades muestreadas se encontraron los diez BUV y los trece congéneres de PCB analizados. Estos resultados resaltan que los pellets de plástico de preproducción que se hallan en las playas de todo el mundo, traen sustancias químicas tóxicas.

La presencia de varios BUV diferentes, incluyendo UV-328, en los pellets de plástico muestra que la basura de los pellets de plástico puede aumentar la propagación de estas sustancias químicas. Varios BUV son persistentes, se bioacumulan y son tóxicos; además, estudios científicos anteriores han demostrado que actúan como perturbadores del sistema endócrino. Estos hallazgos junto con los resultados de este estudio, muestran que múltiples BUV son contaminantes ubicuos que representan riesgos para la salud tanto humana como ambiental. Por lo tanto, es importante adoptar un enfoque regulatorio basado en la clasificación por clases para evitar que los BUV dañen el medio ambiente y la salud humana.

Las mediciones de PCB, en este estudio, mostraron concentraciones alarmantemente elevadas en varios países africanos, sugiriendo que existen fuentes regionales de PCB, posiblemente ligadas a sitios de desechos electrónicos. Por lo tanto, se le debe poner particular atención a los países africanos que enfrentan problemas relacionados por los COP legados.

Más aún, es importante notar que el nivel de contaminación de pellets específicos no es una medida directa del nivel total de contaminación en esa localidad, ya que algunas playas están más contaminadas con basura que otras. Sin embargo, la presencia de todos los BUV y PCB analizados en las playas muestreadas ilustra que no son sólo los aspectos físicos de la basura los que están contaminando las playas. Estos resultados además ilustran que aunque visualmente una playa pueda tener una menor presencia de desechos plásticos, aún así las cantidades pequeñas de contaminación visible se pueden acompañar de altos niveles de contaminación química.

Detrás de la situación, tal cual se presenta aquí, existen múltiples desafíos. Se encuentran pellets de plástico por todo el mundo, los cuales cargan aditivos y adsorben contaminantes ambientales. En esencia, se puede atribuir el origen de esta situación problemática a unas cuantas causas clave.

En primer lugar, rara vez se responsabiliza a las industrias por los derrames de plásticos, incluso en países donde existen marcos regulatorios que pudieran evitar los derrames si se les implementara de manera adecuada. En segundo lugar, las sustancias químicas prohibidas siguen estando presentes en el medio ambiente debido a su persistencia y a una falta de mecanismos de control, particularmente durante el reciclado de desechos electrónicos. Por último, en la producción de productos plásticos se sigue permitiendo el uso de aditivos, como los estabilizadores de rayos de UV, asociados con efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana. El uso de aditivos en la producción de plásticos frecuentemente va acompañada de una transparencia muy limitada.

Por lo tanto, para evitar una mayor contaminación medioambiental, es importante que:

1. baje la producción general de plásticos;
2. las compañías se hagan cargo de evitar y mitigar la liberación de pellets de plástico;
3. mejoran los mecanismos de control regulatorio sobre las sustancias químicas prohibidas;
4. se sustituyen los aditivos asociados con efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana, como los BUV, por alternativas más seguras.

Debido a que los contaminantes plásticos no respetan fronteras nacionales, es de crucial importancia que se establezcan medidas de prevención y mitigación y se les implemente a través de colaboraciones internacionales.

RECOMENDACIONES

Para enfrentar el problema de que los aditivos químicos tóxicos en los plásticos se introduzcan en el medio ambiente, las agencias internacionales y los formuladores de políticas deben de:

- apoyar que se agregue UV-328 a la lista del Apéndice A del Convenio de Estocolmo sin exenciones;
- acelerar la eliminación gradual de 'grupos' de sustancias químicas tóxicas, en vez de abordar cada sustancia una por una;
- establecer una regulación basada en el derecho a saber que requiere que los productores divulguen



públicamente información sobre las sustancias y aditivos químicos utilizados en los productos;

- asegurar que se aplique el principio de quien contamina paga; y
- asegurar que las compañías involucradas en la producción y el manejo de pellets adopte estrategias para evitar que el medio ambiente quede expuesto a derrames.

La industria de plásticos debería:

- establecer rutinas para evitar la liberación de pellets de plástico durante la producción, el transporte, y el almacenamiento;
- dejar de agregarle sustancias químicas tóxicas a los productos de plástico;
- en caso de que algunos aditivos sean esenciales para la manufactura de productos plásticos específicos, una tercera parte deberá confirmar la seguridad de esos aditivos; y
- la lista de ingredientes plásticos, incluyendo los aditivos, deben aparecer en el etiquetado y permitir que se pueda rastrear el contenido químico de los plásticos a través de todo su ciclo de vida y sus etapas de eliminación.

Sobre todo, los gobiernos deben trabajar por reducir la producción de plásticos no esenciales, incluyendo ponerle fin a los subsidios a la extracción de combustibles fósiles y a las plantas de producción de plástico. Los acuerdos globales deben evitar la liberación de plásticos al medio ambiente.

REFERENCIAS

- Anh, H. Q., Watanabe, I., Minh, T. B., & Takahashi, S. (2021). *Unintentionally produced polychlorinated biphenyls in pigments: An updated review on their formation, emission sources, contamination status, and toxic effects*. *Science of The Total Environment*, 755, 142504.
- Apel, C., Joerss, H., & Ebinghaus, R. (2018). *Environmental occurrence and hazard of organic UV stabilizers and UV filters in the sediment of European North and Baltic Seas*. *Chemosphere*, 212, 254–261.
- Asimakopoulos, A. G., Wang, L., Thomaidis, N. S., & Kannan, K. (2013). *Benzotriazoles and benzothiazoles in human urine from several countries: a perspective on occurrence, biotransformation, and human exposure*. *Environment international*, 59, 274–281.
- Barhoumi, B., Lemenach, K., Dévier, M-H, El Megdiche, Y., Hammami, B., Ameer, W.B., Hassine, S.B., Cachot, J, Budzinski, H., & Driss, M.R. (2014). *Distribution and Ecological Risk of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Organochlorine Pesticides (OCs) in Surface Sediments from the Bizerte Lagoon, Tunisia. 6290–6302*. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(10), 6290–6302.
- Brevik, K., Sweetman, A., Pacyna, J. M., & Jones, K. C. (2007). *Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners—a mass balance approach: 3. An update*. *Science of the Total Environment*, 377(2–3), 296–307.
- Carpenter, E. J., Anderson, S. J., Harvey, G. R., Miklas, H. P., & Peck, B. B. (1972). *Polystyrene spherules in coastal waters*. *Science*, 178(4062), 749–750.
- Carmen, B., Krång, A. S., & Infantes, E. (2021). *Microplastic retention by marine vegetated canopies: Simulations with seagrass meadows in a hydraulic flume*. *Environmental Pollution*, 269, 116050.
- Desforges, J. P., Hall, A., McConnell, B., Rosing-Asvid, A., Barber, J. L., Brownlow, A., De Guise, S., Eulaers, I., Jepson, P. D., Letcher, R. J., Levin, M., Ross, P. S., Samarra, F., Vikingsson, G., Sonne, C., Dietz, R. *Predicting global killer whale population collapse from PCB pollution*. *Science*, 2018, 361, 1373–1376.
- ECHA 2020 *Estimating the number and types of applications for 11 substances added to the authorisation list in February 2020*. European Chemicals Agency, 2020
- ECHA 2021 *Search for chemicals/regulated substances*. Retrieved 2021-11-08 <https://echa.europa.eu/sv/home>
- European Commission Green Paper on a European Strategy on Plastic Waste in the Environment (2013) COM/2013/012
- Erickson M.D., Kaley R.G. *Applications of polychlorinated biphenyls*. *Environmental Science and Pollution Research*, 2011; 18(2):135–51
- Feng, H., Cao, H., Li, J., Zhang, H., Xue, Q., Liu, X., Zhang, A. & Fu, J. (2020). *Estrogenic activity of benzotriazole UV stabilizers evaluated through in vitro assays and computational studies*. *Science of The Total Environment*, 727, 138549.
- Fent, K., Chew, G., Li, J., & Gomez, E. (2014). *Benzotriazole UV-stabilizers and benzotriazole: antiandrogenic activity in vitro and activation of aryl hydrocarbon receptor pathway in zebrafish leuthero-embryos*. *Science of the Total Environment*, 482, 125–136.
- FIDRA (2021) *The Great Nurdlehunt*. Retrieved 20211108 <https://www.nurdlehunt.org.uk/nurdle-finds.html>.
- Gioia, R., Eckhardt, S., Brevik, K., Jaward, F. M., Prieto, A., Nizzetto, L., & Jones, K. C. (2011). *Evidence for major emissions of PCBs in the West African region*. *Environmental Science & Technology*, 45(4), 1349–1355.
- Giraud, M., Cottin, G., Esperanza, M., Gagnon, P., Silva, A. O. D., & Houde, M. (2017). *Transcriptional and cellular effects of benzotriazole UV stabilizers UV-234 and UV-328 in the freshwater invertebrates Chlamydomonas reinhardtii and Daphnia magna*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(12), 3333–3342.
- Giraud, M., Colson, T. L. L., De Silva, A. O., Lu, Z., Gagnon, P., Brown, L., & Houde, M. (2020). *Food-Borne Exposure of Juvenile Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) to Benzotriazole Ultraviolet Stabilizers Alone and in Mixture Induces Specific Transcriptional Changes*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 39(4), 852–862.
- Gravier and Haut (2020) *Plastic giants polluting through the backdoor: the case for a regulatory supply-chain approach to pellet pollution*. Surfrider Foundation.
- Hirai H., Takada H., Ogata Y., Yamashita R., Mizukawa K., Saha M., Kwan C., Moore C., Gray H., Laursen D., Zettler E.R., Farrington J.W., Reddy C.M., Peacock E.E., & Ward M.W. (2011). *Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches*. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8):1683–1692
- Hosoda, J., Ofosu-Anim, J., Sabi, E. B., Akita, L. G., Onwona-Agyeman, S., Yamashita, R., & Takada, H. (2014). *Monitoring of organic micropollutants in Ghana by combination of pellet watch with sediment analysis: E-waste as a source of PCBs*. *Marine pollution bulletin*, 86(1-2), 575–581.
- IARC (2015) *Polychlorinated biphenyls and polybrominated biphenyls*. IARC Monographs Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans.
- Kameda, Y., Kimura, K., & Miyazaki, M. (2011). *Occurrence and profiles of organic sun-blocking agents in surface waters and sediments in Japanese rivers and lakes*. *Environmental pollution*, 159(6), 1570–1576.
- Karapanagioti, H. K., S. Endo, Y. Ogata, and H. Takada (2011). *Diffuse Pollution by Persistent Organic Pollutants as Measured in Plastic Pellets Sampled from Various Beaches in Greece*. *Marine Pollution Bulletin*, 62(2):312–17.
- Karlsson, T. M., Arneborg, L., Broström, G., Almroth, B. C., Gipperth, L., & Hassellöv, M. (2018a). *The unaccountability case of plastic pellet pollution*. *Marine Pollution Bulletin*, 129(1), 52–60.
- Kim, J. W., Isobe, T., Ramaswamy, B. R., Chang, K. H., Amano, A., Miller, T. M., ... & Tanabe, S. (2011). *Contamination and bioaccumulation of benzotriazole ultraviolet stabilizers in fish from Manila Bay, the Philippines using an ultra-fast liquid chromatography–tandem mass spectrometry*. *Chemosphere*, 85(5), 751–758.
- Kim, J. W., Chang, K. H., Prudente, M., Viet, P. H., Takahashi, S., Tanabe, S., ... & Isobe, T. (2019). *Occurrence of benzotriazole ultraviolet stabilizers (BUVSs) in human breast milk from three Asian countries*. *Science of The Total Environment*, 655, 1081–1088.
- Kühn, S., & Van Franeker, J. A. (2020). *Quantitative overview of marine debris ingested by marine megafauna*. *Marine pollution bulletin*, 151, 110858.
- Kwon, B. G., Koizumi, K., Chung, S. Y., Kodera, Y., Kim, J. O., & Saido, K. (2015). *Global styrene oligomers monitoring as new chemical contamination from polystyrene plastic marine pollution*. *Journal of hazardous materials*, 300, 359–367.
- Kwon, B. G., Chung, S. Y., & Saido, K. (2020). *Sandy beaches as hotspots of bisphenol A*. *Environmental Research*, 191, 110175.
- Lai, H. J., Ying, G. G., Ma, Y. B., Chen, Z. F., Chen, F., & Liu, Y. S. (2014). *Field dissipation and plant uptake of benzotriazole ultraviolet stabilizers in biosolid-amended soils*. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 16(3), 558–566.
- Lu, Q., Liang, Y., Fang, W., Guan, K. L., Huang, C., Qi, X., Liang Z., Zeng, Y., Luo, X., He, Z., Mai, B. & Wang, S. (2021). *Spatial distribution, bioconversion and ecological risk of PCBs and PBDEs in the surface sediment of contaminated urban rivers: a nationwide study in China*. *Environmental Science & Technology*. 55, 14, 9579–9590
- Lu, Z., Peart, T. E., Cook, C. J., & De Silva, A. O. (2016). *Simultaneous determination of substituted diphenylamine antioxidants and benzotriazole ultra violet stabilizers in blood plasma and fish homogenates by ultra high performance liquid chromatography–electrospray tandem mass spectrometry*. *Journal of Chromatography A*, 1461, 51–58.
- Lu, Z., Smyth, S. A., Peart, T. E., & De Silva, A. O. (2017). *Occurrence and fate of substituted diphenylamine antioxidants and benzotriazole UV stabilizers in various Canadian wastewater treatment processes*. *Water research*, 124, 158–166.
- Lu, Z., De Silva, A.O., McGoldrick, D.J., Zhou, W., Peart, T.E., Cook, C., Tetreault, G.R., Martin, P.A., de Solla, S.R., (2018). *Substituted diphenylamine antioxidants and benzotriazole UV stabilizers in aquatic organisms in the Great Lakes of North America: terrestrial exposure and biodilution*. *Science of the total environment*, 647, 182–190.
- Lu, Z., De Silva, A. O., Provencher, J. F., Mallory, M. L., Kirk, J. L., Houde, M., Stewart, C., Braune, B.M., Avery-Gomm, S., & Muir, D. C. (2019). *Occurrence of substituted diphenylamine antioxidants and benzotriazole UV stabilizers in Arctic seabirds and seals*. *Science of the Total Environment*, 663, 950–957.
- Lu, Z., De Silva, A. O., Zhou, W., Tetreault, G. R., de Solla, S. R., Fair, P. A., Houde, M., Bossart, G., & Muir, D. C. (2019). *Substituted diphenylamine antioxidants and benzotriazole UV stabilizers in blood plasma of fish, turtles, birds and dolphins from North America*. *Science of the total environment*, 647, 182–190.
- Marek, R. F., Thorne, P. S., Herkert, N. J., Awad, A. M., & Hornbuckle, K. C. (2017). *Airborne PCBs and OH-PCBs inside and outside urban and rural US schools*. *Environmental Science & Technology*, 51(14), 7853–7860.

- Mizukawa, K., Takada, H., Ito, M., Geok, Y.B., Hosoda, J., Yamashita, R., Saha, M., Suzuki, S., Miguez, C., Frias, J., Antunes, J.C., Sobral, P., Santos, I., Micaelo, C. & Ferreira, A.M. (2013). *Monitoring of a Wide Range of Organic Micropollutants on the Portuguese Coast Using Plastic Resin Pellets*. Marine Pollution Bulletin, 70(1-2):296-302.
- Mohamed Nor, N. H., & Koelmans, A. A. (2019). *Transfer of PCBs from microplastics under simulated gut fluid conditions is biphasic and reversible*. Environmental Science & Technology, 53(4), 1874-1883.
- Nagayoshi, H., Kakimoto, K., Takagi, S., Konishi, Y., Kajimura, K., & Matsuda, T. (2015). *Benzotriazole ultraviolet stabilizers show potent activities as human aryl hydrocarbon receptor ligands*. Environmental Science & Technology, 49(1), 578-587.
- Nakata, H., Murata, S., & Filatreau, J. (2009). *Occurrence and concentrations of benzotriazole UV stabilizers in marine organisms and sediments from the Ariake Sea, Japan*. Environmental Science & Technology, 43(18), 6920-6926.
- NOAA/UNEP *The Honolulu Strategy - A Global Framework for Prevention and Management of Marine Debris* (2011)
- Yuko, O., Takada, H., Mizukawa, K., Hirai, H., Iwasa, S., Endo, S., Mato, Y., Saha, M., Okuda, K., Nakashima, A., Murakami, M., Zurcher, N., Booyatumanondo, R., Zakaria, M.P., Dung, L.Q., Gordon, M., Miguez, C., Suzuki, S., Moore, C., Karapanagioti, H.K., Weerts, S., McClurg, T., Burres, E., Smith, W., van Velkenburg, M., Selby Lang, J., Lang, R.C., Laursen, D., Danner, B., Stewardson, N., & Thompson, R.C. (2009) *International Pellet Watch: Global Monitoring of Persistent Organic Pollutants (POPs) in Coastal Waters. 1. Initial Phase Data on PCBs, DDTs, and HCHs*. Marine Pollution Bulletin, 58(10):1437-46.
- Pierce, K. E., Harris, R. J., Larned, L. S., & Pokras, M. A. (2004). *Obstruction and starvation associated with plastic ingestion in a Northern Gannet *Morus bassanus* and a Greater Shearwater *Puffinus gravis**. Marine Ornithology, 32, 187-189.
- Peng, X., Chen, G., Fan, Y., Zhu, Z., Guo, S., Zhou, J., & Tan, J. (2021). *Lifetime bioaccumulation, gender difference, tissue distribution, and parental transfer of organophosphorus plastic additives in freshwater fish*. Environmental Pollution, 280, 116948.
- Rani, M., Shim, W. J., Han, G. M., Jang, M., Song, Y. K., & Hong, S. H. (2017). *Benzotriazole-type ultraviolet stabilizers and antioxidants in plastic marine debris and their new products*. Science of The Total Environment, 579, 745-754.
- Rochman, C. M. (2013). *Plastics and priority pollutants: a multiple stressor in aquatic habitats*. Environmental Science & Technology, 47, 6, 2439-2440
- Roman, L., Paterson, H., Townsend, K. A., Wilcox, C., Hardesty, B. D., & Hindell, M. A. (2019a). *Size of marine debris items ingested and retained by petrels*. Marine Pollution Bulletin, 142, 569-575.
- Roman, L., Hardesty, B. D., Hindell, M. A., & Wilcox, C. (2019b). *A quantitative analysis linking seabird mortality and marine debris ingestion*. Scientific Reports, 9(1), 1-7.
- Roman, L., Lowenstine, L., Parsley, L. M., Wilcox, C., Hardesty, B. D., Gilardi, K., & Hindell, M. (2019b). *Is plastic ingestion in birds as toxic as we think? Insights from a plastic feeding experiment*. Science of the Total Environment, 665, 660-667.
- Ruan, T., Liu, R., Fu, Q., Wang, T., Wang, Y., Song, S., ... & Jiang, G. (2012). *Concentrations and composition profiles of benzotriazole UV stabilizers in municipal sewage sludge in China*. Environmental Science & Technology, 46(4), 2071-2079.
- Salvaggio, A., Tiralongo, F., Krasakopoulou, E., Marmara, D., Giovos, I., Crupi, R., ... & Brundo, M. V. (2019). *Biomarkers of exposure to chemical contamination in the commercial fish species *Lepidopus caudatus* (Euphrasen, 1788): a particular focus on plastic additives*. Frontiers in Physiology, 10, 905.
- Sakuragi, Y., Takada, H., Sato, H., Kubota, A., Terasaki, M., Takeuchi, S., ... & Kojima, H. (2021). *An analytical survey of benzotriazole UV stabilizers in plastic products and their endocrine-disrupting potential via human estrogen and androgen receptors*. Science of the Total Environment, 800, 149374.
- Steensgaard, I.M., Syberg, K., Rist, S., Hartmann, N.B., Boldrin, A., & Hansen, S.F. *From macro- to microplastics-Analysis of EU regulation along the life cycle of plastic bags*. Environmental Pollution, 224 (2017), pp. 289-299
- Takada, H., Yamashita, R. (2016). Chapter 7.2: Pollution status of persistent organic pollutants. In IOC- UNESCO and UNEP (2016). *Large Marine Ecosystems: Status and Trends*. United Nations Environment Programme, Nairobi, pp 165-176.
- Tanaka, K., van Franeker, J. A., Deguchi, T., & Takada, H. (2019). *Piece-by-piece analysis of additives and manufacturing byproducts in plastics ingested by seabirds: Implication for risk of exposure to seabirds*. Marine Pollution Bulletin, 145, 36-41.
- Tanaka, K., Watanuki, Y., Takada, H., Ishizuka, M., Yamashita, R., Kazama, M., ... & Nakayama, S. M. (2020). *In vivo accumulation of plastic-derived chemicals into seabird tissues*. Current Biology, 30(4), 723-728.
- Tanaka, K., Takada, H., Ikenaka, Y., Nakayama, S. M., & Ishizuka, M. (2020b). *Occurrence and concentrations of chemical additives in plastic fragments on a beach on the island of Kauai, Hawaii*. Marine Pollution Bulletin, 150, 110732.
- UNEP, United Nations Environmental Programme. Stockholm Convention on Persistent, Organic Pollutants. 2001.
- Wang, L., Asimakopoulos, A. G., & Kannan, K. (2015). *Accumulation of 19 environmental phenolic and xenobiotic heterocyclic aromatic compounds in human adipose tissue*. Environment International, 78, 45-50.
- Wiesinger, H., Wang, Z., & Hellweg, S. (2021). *Deep Dive into Plastic Monomers, Additives, and Processing Aids*. Environmental Science & Technology.
- Yamashita, R., Takada, H., Nakazawa, A., Takahashi, A., Ito, M., Yamamoto, T., ... & Watanuki, Y. (2018). *Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) using seabird preen gland oil*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 75(4), 545-556.
- Yamashita, R., Hiki, N., Kashiwada, F., N., Takada, H., Mizukawa, K., Hardesty, B. D., Roman, L., Hyrenbach, D., Ryan, P.G., Dilley, B.J., Munos-Pérez, J.P., Valle, C.A., Pham, C.K., Frias, J., Nishizawa, B., Takahashi, A., Thiebot, J-B., Will, A., Kokobun, N., Watanabe, Y.Y., Yamamoto, T., Shiomi, K., Shimabukuro, U., & Watanuki, Y. (2021). *Plastic additives and legacy persistent organic pollutants in the preen gland oil of seabirds sampled across the globe*. Environmental Monitoring and Contaminants Research, 1, 97-112.
- Yeo, B. G., Takada, H., Taylor, H., Ito, M., Hosoda, J., Allinson, M., Connell, S., Greaves, L., & McGrath, J. (2015) *POPs Monitoring in Australia and New Zealand Using Plastic Resin Pellets, and International Pellet Watch as a Tool for Education and Raising Public Awareness on Plastic Debris and POPs*. Marine Pollution Bulletin, 101(1):137-45.
- Zhuang, S., Lv, X., Pan, L., Lu, L., Ge, Z., Wang, J., Wang, J., Liu, J., Liu, W., & Zhang, C. (2017). *Benzotriazole UV 328 and UV-P showed distinct antiandrogenic activity upon human CYP3A4-mediated biotransformation*. Environmental Pollution, 220, 616-624.
- Zimmermann, L., Bartosova, Z., Braun, K., Oehlmann, J., Völker, C., & Wagner, M. (2021). *Plastic products leach chemicals that induce in vitro toxicity under realistic use conditions*. Environmental Science & Technology, 55(17), 11814-11823.



www.pelletwatch.org



por un futuro sin tóxicos

www.ipen.org

ipen@ipen.org

@ToxicsFree