

ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias

Contaminación por microplásticos

**El Caribe y su contaminación
por microplásticos**

Basura plástica en tortugas del Caribe

**Participación ciudadana ante
la contaminación por plásticos**

**Biomarcadores a microplásticos
en fauna marina**

**Biorrefinería: control y aprovechamiento
del lirio acuático**

www.revistaciencia.amc.edu.mx



CONSEJO DIRECTIVO

julio 2020 - julio 2023

Presidenta

Estela Susana Lizano Soberón

Vicepresidente

José Antonio Seade Kuri

Tesorero

Dante Jaime Morán Zenteno

Secretarios

María del Jesús Rosales Hoz

Pedro Salazar Ugarte

Presidentes de las Secciones Regionales de la AMC

Sección Centro-Occidente: María Patricia Arias Rozas

Sección Centro-Sur: María del Carmen Cisneros Gudiño

Sección Noreste: Oliverio Santiago Rodríguez Fernández

Sección Noroeste: Alfredo Ortega Rubio

Sección Sur-Sureste: Soledad María Teresa Hernández Sotomayor

 Desde el Comité Editorial	3
<i>Alonso Fernández Guasti</i>	

  Contaminación por microplásticos	
 Presentación. Contaminación por microplásticos	6
<i>Dalila Aldana Aranda</i>	
 El Caribe y su contaminación por microplásticos	8
<i>Dalila Aldana Aranda, Martha Enríquez Díaz y Víctor Castillo Escalante</i>	
 Microplásticos en agua y en organismos	14
<i>Gilberto Acosta González, Ditzia Valeria Carrillo Rosales y J. Adán Caballero Vázquez</i>	
 Basura plástica en tortugas del Caribe	22
<i>Gisela Maldonado Saldaña, Dalila Aldana Aranda y Vanessa Labrada Martagón</i>	
 Contaminación marina por microplásticos en la península de Baja California	28
<i>Héctor Reyes Bonilla, Lorena Viloria Gómora e Isabel Montserrat Arreola Alarcón</i>	
 Microplásticos en playas: realidad y percepción	36
<i>Arely Areanely Cruz Salas, Alethia Vázquez Morillas y Juan Carlos Álvarez Zeferino</i>	
 Las dunas del Caribe y su contaminación por plásticos	42
<i>Rigoberto Rosas Luis, Claudia González Salvatierra y Mayra Polett Gurrola</i>	
 Participación ciudadana ante la contaminación por plásticos	50
<i>Laura M. Hernández Terrones, Judith Morales López y Jairo A. Ayala Godoy</i>	
 El impacto de microplásticos en organismos marinos	58
<i>Andrea Zambrano</i>	
 Biomarcadores a microplásticos en fauna marina	62
<i>Vanessa Labrada Martagón y Tania Zenteno Savín</i>	
 Biorremediación de la contaminación por plásticos	68
<i>Carolina Peña Montes, Luis A. Peralta Peláez y Amelia Farrés</i>	

  Novedades científicas	
 Generación de candidatas a vacunas para la comorbilidad tuberculosis-diabetes	75
<i>Mario Alberto Flores Valdez</i>	

  Desde la UAM	
 Biorrefinería: control y aprovechamiento del lirio acuático	79
<i>José Antonio Martínez Ruiz y José Fernando Méndez González</i>	

  De actualidad	
 La educación superior en México en la pospandemia: ¿hacia dónde?	85
<i>Judith Zubieta García</i>	

  Desde las redes	
 Medir aleteos para salvar la biodiversidad	91
 Una nueva visión del universo en infrarrojo	92
 Un verano que dañó la capa de ozono	93
<i>José Eduardo González Reyes</i>	

  Noticias de la AMC	
	94



Portada: Depositphotos.



Separador: Ana Viniegra.

ciencia, volumen 73, número 2, correspondiente a abril-junio de 2022, editado y distribuido por la Academia Mexicana de Ciencias, A. C. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Academia Mexicana de Ciencias. Queda prohibida la reproducción total o parcial del contenido por cualquier medio sin la autorización expresa de la Academia Mexicana de Ciencias. Certificado de Reserva de Derechos al uso exclusivo del título 04-2001-072510183000-102 expedido el 25 de julio de 2001 por el Instituto Nacional del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Certificado de Licitud de Título y Contenido 17371 expedido por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. ISSN 1405-6550. Editor responsable: Francisco Salvador Mora Gallegos. Formación: Intidrinero, S.A. de C.V., tel.: 55-5575 5846. Correspondencia: Academia Mexicana de Ciencias, A. C., atención: Revista Ciencia, Casa Tlalpan, km 23.5 de la Carretera Federal México-Cuernavaca, Av. Cipreses S/N, Col. San Andrés Totoltepec, Del. Tlalpan, C.P. 14400, Ciudad de México, tel.: 55-5849 4903, fax: 55-5849 5108, rciencia@unam.mx, <http://www.amc.mx>.

ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias
abril-junio 2022 volumen 73 número 2

Director fundador

Ignacio Bolívar Urrutia (1850-1944)

Director

Alonso Fernández Guasti

Comité editorial

Raúl Antonio Aguilar Roblero
Raúl Ávila
Ana Cecilia Noguez
Raymundo Cea
Deborah Dultzin
Ronald Ferrera
Gerardo Gamba
Adolfo Guzmán
Juan Pedro Laclette San Román
Miguel Ángel Pérez de la Mora
Carlos Prieto de Castro
Sergio Sánchez Esquivel
Alicia Ziccardi

Editora

Rosanela Álvarez

Corrección de estilo y enlace con autores

Paula Buzo

Social Media

José Eduardo González Reyes

Diseño y formación

Intidrinero, S.A. de C.V.

Ilustradora

Ana Viniegra, pp. 9, 15, 37, 43, 63, 74, 82

Pixabay: pp. 6, 17, 52, 61, 84, 86, 88

Depositphotos: pp. 4-5, 10, 19, 20, 23, 24, 29, 32, 34-35, 40, 41, 44, 48, 51, 59, 62, 64, 66, 76-77, 79

Red

Walter Galván Tejada

Academia Mexicana de Ciencias, A.C.

Casa Tlalpan, km 23.5 de la Carretera Federal México-Cuernavaca, Av. Cipreses S/N, Col. San Andrés Totoltepec, Del. Tlalpan, C.P. 14400, Ciudad de México
tel.: 5849 4903, fax: 5849 5108

www.revistaciencia.amc.edu.mx



@CienciaAMC



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Este número de la revista *Ciencia* ha sido posible gracias al patrocinio de la



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

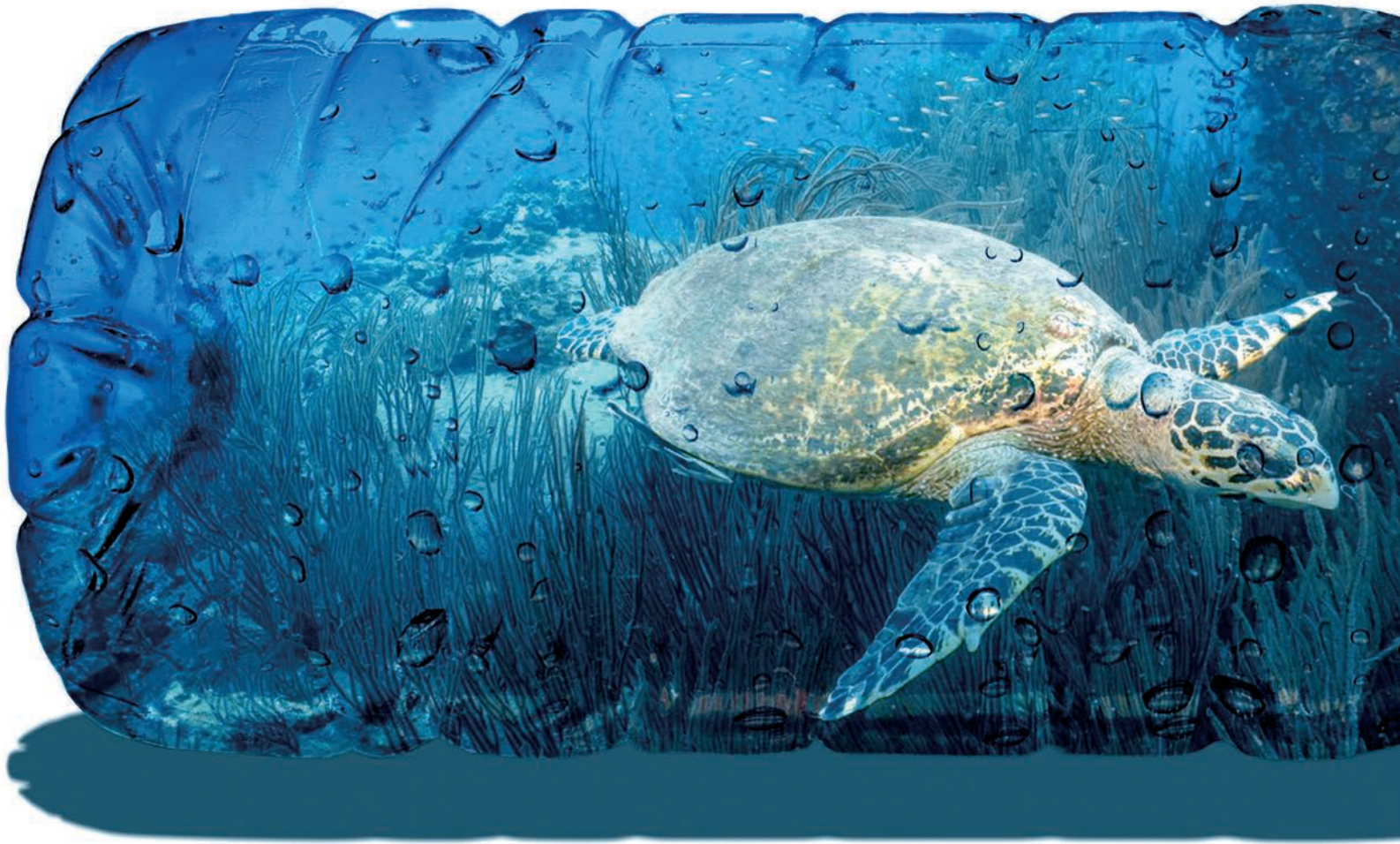
Desde el Comité Editorial



Les doy la bienvenida a este nuevo número de la revista *Ciencia* que contiene una interesante sección temática compuesta por una decena de artículos que analizan el problema de la contaminación por microplásticos. ¿Qué son los microplásticos? ¿Qué efectos tienen en los seres marinos (por ejemplo, tortugas, cetáceos, moluscos)? ¿Cuáles son las soluciones a esta contaminación? Este es un problema grave de toxicología ambiental, ya que en todo el mundo la basura en los océanos está dominada por plásticos; de ocho millones de toneladas de residuos sólidos que se vierten al océano cada año, 90% son plásticos. México ocupa el lugar número 12 en el mundo por su consumo de plásticos y el lugar 11 por su producción. Así, una gran cantidad de residuos plásticos llega a los ecosistemas y todas las especies de flora y fauna acuática son susceptibles a la acumulación e ingesta de microplásticos. Los microplásticos en sí son inertes, pero se vuelven tóxicos porque durante su manufactura o depósito en los mares absorben una serie de sustancias y toxinas que afectan la salud y la reproducción de los organismos. Los efectos tóxicos producidos por los microplásticos y sus sustancias asociadas incluyen la producción de especies reactivas de oxígeno, el aumento en los indicadores de estrés oxidativo, alteraciones en la transcripción y expresión de genes, daño al ADN, alteraciones por disrupción endócrina e, incluso, afectaciones a parámetros poblacionales, como la probabilidad de supervivencia y bajas tasas de fecundidad.

Asimismo, hay un fenómeno curioso porque las personas que visitan las playas no siempre perciben esta contaminación por plásticos, o la subestiman, por lo que generar conciencia es el primer paso para llegar a la solución del problema. En la medida en que turistas y habitantes de las zonas costeras cuenten con información adecuada, prestarán más atención a las maneras en que puede prevenirse esta forma de contaminación. Además, otra parte de la solución depende de cambios en la industria que fabrica los plásticos y en el fortalecimiento de los programas gubernamentales de acopio, reciclaje y desecho. Sin embargo, también recae en la responsabilidad que tenemos las personas como consumidoras de productos envasados en plásticos, sobre todo los de un solo uso. Así, en los sitios donde no se cuenta con sistemas de reciclaje, debemos disminuir el uso personal de productos que conlleven a la generación de residuos plásticos. En otras palabras, necesitamos promover la participación ciudadana para ayudar a la solución.

Vale la pena preguntarnos: ¿por qué es tan difícil degradar un plástico?, ¿a qué podemos transformar los plásticos? Existen diversas herramientas biotecnológicas para lograr la transformación de los plásticos en nuevos materiales o incluso en energía. Las soluciones biotecnológicas son multidisciplinarias y de cada una debe evaluarse su impacto ambiental. Es necesario degradar los plásticos hasta sus monómeros para su posterior reciclaje, o bien lograr la degradación completa para generar sustancias orgánicas que se



puedan integrar al ambiente. Todo esto lo pueden leer en la sección temática que, como ven, no sólo expone uno de los problemas más severos que está enfrentando la humanidad, sino que propone algunas alternativas, incluidas las de mayor importancia que tienen que ver con cambios de actitud de la población.

Por otra parte, en la sección de Novedades científicas encontrarán un artículo que habla de la generación de vacunas para prevenir la comorbilidad tuberculosis-diabetes. Una persona con diabetes tiene muy alta probabilidad de contraer tuberculosis, en comparación con una persona sin diabetes. Cuando alguien padece ambas enfermedades simultáneamente sufre un mayor daño pulmonar, lo que deteriora su calidad de vida. En este artículo se expone que una nueva candidata a vacuna mejora la protección contra el daño pulmonar en ratones durante etapas avanzadas de tuberculosis y diabetes. Además, de manera interesante, esta candidata a vacuna también favorece un mejor control de los niveles de glucosa.

En la sección de Actualidad (dedicada a compartir artículos que aborden el tema de la enfermedad COVID-19 y sus efectos) se habla de las acciones que deben observar las instituciones de educación superior para cumplir con su función docente tomando en cuenta, por un lado, la prevención de contagios y, por el otro, los cambios en los métodos de enseñanza mediante las nuevas tecnologías según las habilidades y los perfiles sociodemográficos de estudiantes y docentes. El hartazgo y aburrimiento de los primeros y el agotamiento de los segundos han obligado a repensar y evaluar lo que se tuvo que modificar, por razones de la pandemia, para impartir cursos en el nivel superior de enseñanza. En el artículo se revisan varios aspectos que incluyen, entre otros, el diseño y la actualización curricular de la educación formal y las habilidades digitales del profesorado y el alumnado.

Por último, me es grato comunicarles que a partir de este número contamos con la generosa aportación de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) que



permitirá la continuidad de la publicación de la revista *Ciencia*. Gracias a la labor de la presidenta de la AMC, Susana Lizano Soberón, y del rector de la UAM, José Antonio de los Reyes Heredia,

se nos ha otorgado un invaluable soporte que esperamos que permanezca durante muchos años. Así, se inaugura en este número una sección dedicada a difundir la labor académica que se desarrolla en dicha universidad, que hemos titulado Desde la UAM. En esta ocasión, en el artículo “Biorrefinería: control y aprovechamiento del lirio acuático”, los autores nos mencionan que esta planta acuática de crecimiento rápido forma una capa que cubre por completo un cuerpo de agua en un periodo muy corto, lo cual ocasiona problemas importantes. Cuesta miles de pesos limpiar esta infestación y, hasta el momento, no se obtiene ningún beneficio. Ante ello, los autores muestran cómo una biorrefinería constituye una estrategia idónea para transformar el problema en oportunidad. Con creatividad y conocimiento, nos explican que en la Biorrefinería LirMex III se rentabiliza el costo de extracción de esta planta gracias a la obtención de cuatro productos: composta, lombricomposta, material absorbente y biogás. Este sistema tiene la ventaja de carecer de residuos y usar únicamente al lirio acuático como materia prima.

Espero que disfruten la lectura de este número.

ALONSO FERNÁNDEZ GUASTI
Director

Dalila Aldana Aranda, editora huésped

Presentación

Contaminación por microplásticos

La prensa y los noticieros con frecuencia emiten una nota impresionante con respecto a la omnipresencia de los microplásticos en el planeta: trillones de micropartículas de plástico que no podemos ver; pero que cada vez más los equipos de investigación científica detectan, cuantifican y muestran las evidencias de su presencia e impacto en las playas, en el mar, en los lagos y ríos, en nuestros alimentos, y hasta en la placenta humana. Si hacemos un recorrido en el tiempo, tenemos que hace 4 500 millones de años se formó la Tierra, hace apenas 200 000 años los primeros *Homo sapiens* caminaban en su superficie, pero tan sólo en los últimos 50 años se ha desarrollado la producción masiva de un sinnúmero de objetos de plástico que están presentes en todo lo que utilizamos, desde el biberón de un recién nacido hasta un flamante auto de la Fórmula 1. Impactante resulta también saber que más de la mitad del total del plástico ha sido producido desde el año 2000 a la fecha.

Se estima que la producción global por año es de 300 millones de toneladas de plástico, del cual menos de 70% será reciclado. Esto constituye una de las principales fuentes de contaminación antropogénica en el mundo, debido a los inadecuados o inexistentes sistemas de recolección, reciclado y disposición de resi-



duos urbanos e industriales (Banco Mundial, 2016). Resultado de lo anterior, 13 millones de toneladas de plástico terminarán en los océanos cada año, lo que representa más de 80% de la basura marina. A saber, cada minuto se compran en el mundo un millón de botellas de agua o de refrescos, que terminan siendo alrededor de 25% de la basura de los océanos, la cual es de nueve millones de toneladas de plástico, o lo equivalente a cinco bolsas de basura por cada 30 cm.

Desafortunadamente, los plásticos no “desaparecen”, sólo se fragmentan en pedazos cada vez más pequeños... hasta llegar a ser partículas microscópicas, muchas de las cuales llegarán directamente al agua de los océanos o seguirán fragmentándose en el mar. La categoría de lo que conocemos como microplásticos está conformada por partículas con tamaños inferiores a 5 mm. Estos materiales provienen de la degradación de piezas de plástico más grandes, así como de artículos de la industria cosmética y de limpieza, que produce microesferas para incluirlas en cremas de afeitar, productos antiarrugas, pastas de dientes y pinturas. No obstante, sorprende saber que la mayor parte de los microplásticos (35%) proviene de la ropa que utilizamos, pues cada vez más se usan textiles sintéticos (como nailon) para hacerla más barata, pero en cada lavada se desprenden miles de fibras que van a parar en el agua de desecho. Otra fuente importante son las llantas de los autos (30%) y el polvo de las ciudades (25%). Las señales viales y pinturas, así como los productos de limpieza e higiene personal representan 5%, respectivamente.

Cabe considerar que los productos de plástico están elaborados con distintos compuestos químicos, por lo que tienen diferentes densidades. Por ejemplo, las bolsas de plástico, hechas de polietileno, son menos densas que el agua de mar, por lo que van a flotar; otros plásticos son más pesados y se van a hundir, hasta llegar al fondo del océano. Esto implica una evidente contaminación en el hábitat marino; pero, además, los microplásticos tienen la capacidad de acumular cientos de sustancias tóxicas, entre ellas insecticidas, herbicidas, fertilizantes y contaminantes orgánicos persistentes que son cancerígenos y disruptores del sistema endocrino. Estas partículas tam-

bién son colonizadas por bacterias que pueden actuar como acumuladores de otros contaminantes. Así, los microplásticos presentes en el agua de los océanos ingresan a la cadena alimentaria por el plancton y de éste pasan a larvas de peces, moluscos y crustáceos; de ahí a peces de mayor talla, hasta llegar a nuestro plato. En gran medida, el riesgo de los microplásticos para la población humana aún se desconoce, pero es un área de investigación activa y muy interesante.

En este número de la revista *Ciencia* participan especialistas mexicanos que están trabajando en el tema de la contaminación por microplásticos en diversos ámbitos. Sus investigaciones abarcan desde el monitoreo en el mar Caribe, golfo de México, océano Pacífico y la península de Baja California, hasta los estudios del impacto a nivel molecular o las alternativas para la biorremediación de la contaminación por microplásticos. El conjunto de los trabajos permitirá tener un amplio panorama de la situación actual de este contaminante emergente en las playas, aguas y especies marinas de México. Por ello, se destaca la importancia de compartir el conocimiento mediante la cooperación científica y la divulgación.

México cuenta con un amplio grupo de investigadores consolidados en el tema de la contaminación por microplásticos, por lo que es importante que existan los recursos para que se puedan integrar en una red nacional y participen con equipos internacionales. En ese sentido, nuestro país debe contar con un Observatorio Nacional de Contaminación Marina, que certifique la calidad del agua y de los alimentos que provienen del mar. Se requiere no sólo de la legislación para prohibir los plásticos de un solo uso, sino también del desarrollo e impulso de la movilidad social para llevar a cabo programas de concientización sobre su consumo, disposición final y reciclado, como parte de una estrategia de bioseguridad nacional. Asimismo, como investigadores tenemos un compromiso con México y con nuestra sociedad, para contribuir mediante la comunicación de nuestros resultados a partir de la divulgación, por lo que este número de la revista *Ciencia* será de gran apoyo en este movimiento de ciudadanía responsable con el ambiente.

Dalila Aldana Aranda, Martha Enríquez Díaz y Víctor Castillo Escalante



El Caribe y su contaminación por microplásticos

Cerca de 12.7 millones de toneladas métricas de plásticos terminan en los océanos del mundo; los más ubicuos son los microplásticos, presentes en los sedimentos y la columna de agua, donde pueden ser ingeridos por organismos marinos. Se cuantificó la contaminación utilizando al caracol rosado como especie indicadora. Los microplásticos están presentes en todo el Caribe y son más abundantes en la parte noroeste.

Antecedentes

Desde la primaria aprendemos que los océanos ocupan 75% de la superficie de la Tierra, pero no nos enseñan que la existencia de la humanidad depende más de ellos de lo que creemos. De los océanos proviene 60% de las proteínas para nuestro consumo, que son además alimentos ricos en minerales y con bajo contenido de grasas. Pero lo más importante radica en que sus aguas son el verdadero pulmón del planeta, pues en ellas se genera de 60% a 85% del oxígeno que va a la atmósfera, la mayoría producido por el plancton vegetal (fitoplancton). Además, en los océanos se absorbe más de la mitad del dióxido de carbono que emitimos para producir energía, transportarnos, fabricar los productos que utilizamos u obtener nuestros alimentos, pues en todos estos procesos se quema petróleo y otros combustibles. Los océanos son también reguladores de nuestro clima. Adicionalmente, diversas actividades económicas están vinculadas a sus aguas, con las cuales se generan cerca de tres billones de dólares al año. Éstos son algunos ejemplos de los múltiples beneficios que nos brindan los océanos.

Por lo anterior, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha declarado al periodo 2021-2030 como el Decenio de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible. Esta declaratoria busca promover el trabajo conjunto para revertir el problema de salud de los océanos, la afectación por la sobrepesca y el impacto de la contaminación marina, para con ello hacer sostenible nuestra existencia. Éstas son algunas razones para que su conservación sea una prioridad en las agendas políticas de todos los países en los que artificialmente hemos dividido a nuestro planeta. En las escuelas, y entre la sociedad en general, se debe enseñar que los múltiples servi-



cios que nos brindan los océanos tienen una función vital; si entiendiéramos esto, utilizaríamos menos a los océanos como el gran basurero de la humanidad.

El Caribe

El Caribe es un mar cerrado entre el arco de las islas de las Antillas menores, al este, y las Antillas mayores y la parte continental del Caribe, al oeste; en total, 37 países integran el litoral. Con una superficie de 3 millones de km², se formó hace 180 millones de años, en el Jurásico. En el Caribe vive 10% de la población mundial, mientras que 11% de la pesca se hace en sus aguas. Además, la diversidad es una de sus principales características, pues aquí se encuentra la segunda barrera coralina más grande de la Tierra, con casi 25% de la biodiversidad de los corales del mundo. Relacionada con los arrecifes se mantiene una intensa actividad turística, perteneciente a la categoría de turismo triple S (en inglés: *sun, sand and sea*, “sol, arena y mar”), el cual representa aproximadamente 6% del producto interno bruto en México.

Sin embargo, el Caribe es el segundo mar más contaminado del mundo por plásticos y microplásticos,

porque la mitad de los residuos urbanos de esta región van a basureros a cielo abierto y 85% de sus aguas residuales no son tratadas antes de llegar al mar. De acuerdo con la ONU, 13 millones de toneladas de plástico llegan a los mares de todo el mundo, lo equivalente a arrojar cada minuto un camión lleno de plástico. De la basura marina, 80% está conformada por plásticos y se calcula que en 2050 habrá más plástico que peces. Mucha de esta basura está asociada al turismo masivo; a saber, cada minuto se compran más de un millón de botellas de agua o refrescos, lo que representa 25% de la basura de los océanos. Alarmante resulta también saber que más de la mitad del total del plástico en sus aguas ha sido producido desde 2000 a la fecha.

Los microplásticos

Por lo que respecta a los microplásticos en los océanos, estos materiales derivan de la fragmentación de diferentes tipos de plásticos, pero también provienen de la producción de microesferas que son adicionadas a cremas, pastas de dientes, pinturas, abrasivos, detergentes, entre otros productos. No obstante,



sorprende saber que la mayor parte de las fibras de microplásticos proviene de mucha de la ropa que utilizamos y que es elaborada con textiles sintéticos (al menos 35%), ya que en cada lavada se desprenden en promedio 20 000 fibras que llegarán a los océanos junto con las aguas residuales. Asimismo, el desgaste de las llantas de nuestros autos contribuye en 30%, y el polvo de las ciudades, en 25 por ciento.

Es importante saber que los plásticos tienen diferente densidad, por lo que hay unos que flotan, al tener una densidad menor que la del agua del mar (como las bolsas de plástico), pero hay otros que se hunden, como el tereftalato de polietileno (PET) y las fibras de poliéster de la ropa. Así, tanto los organismos del plancton como los que viven en los fondos marinos podrán llegar a ingerir microplásticos. Adicionalmente, un aspecto preocupante de los microplásticos es el hecho de que acumulan más de una centena de sustancias tóxicas; entre ellas, contaminantes como los insecticidas, fertilizantes organoclorados y contaminantes orgánicos persistentes, que son altamente cancerígenos y disruptivos del sistema endocrino.

“Los plásticos no desaparecen, sólo se fragmentan...” en pedazos cada vez más pequeños, hasta llegar a un tamaño microscópico. Es así como estos materiales, y las sustancias tóxicas que contienen,

se integran en las cadenas tróficas; empiezan por el plancton, de éste pasan a larvas de peces, moluscos y crustáceos, y de ahí a estadios adultos de diversas especies marinas. Si consideramos que la mayor parte de estas especies son nuestro alimento, esto quiere decir que los microplásticos llegan finalmente a nuestros platos y organismos.

Estudios de contaminación por microplásticos en el Caribe

Para conocer el estado de la contaminación por microplásticos en el Caribe, en el departamento de Recursos del Mar del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, unidad Mérida, llevamos a cabo una investigación en la cual utilizamos como especie **bioindicadora** al caracol rosa (*Strombus gigas*), por ser un molusco endémico del Caribe que se encuentra en todos los países que integran la región y que en su fase adulta está asociada al fondo marino (véase la Figura 1). Para no sacrificar a los caracoles en el estudio, conforme a las prácticas bioéticas, y además porque se trata de una especie amenazada, en el laboratorio de Biología, Conservación y Cultivo de Moluscos desarrollamos un método no invasivo que consiste en

Bioindicadora
Especies que actúan como señal de alerta ante las condiciones ambientales.



Figura 1. Caracol rosa (*Strombus gigas*), especie de molusco utilizada como bioindicadora en la investigación de la contaminación marina por microplásticos. Fotografía: Alejandro Aldana Moreno.

obtener y analizar las heces fecales de esta especie. El plástico que ingieren los caracoles no lo digieren, pues no cuentan con un sistema enzimático que lo permita, así que los materiales atraviesan el tracto digestivo y salen con las excretas. Para llevar a cabo el estudio, colocamos a los caracoles en acuarios y después de cuatro horas colectamos las heces (véase la Figura 2) para hacer su análisis con diferentes tipos de microscopía óptica y electrónica. En seguida, todos los caracoles fueron regresados al mar sin haber sido afectados.

Con la ayuda de colegas investigadores de otros países, obtuvimos muestreos realizados con este método en diversos sitios de todo el Caribe. En la Figura 3 se indica la cantidad de microplásticos encontrados en cada localidad: la mayor concentración se presentó en el Caribe mexicano y la parte menos contaminada se encontró en las Antillas menores (frente a la isla francesa Guadalupe). El gradiente de contaminación, de menor a mayor, va de la parte oriental del Caribe a la parte noroeste.

Como parte de los resultados, en la Figura 4 se muestran fibras de microplásticos que pueden servir de soporte para su desarrollo a algunos microorganismos. Sin embargo, el grave problema de los microplásticos para la salud de la fauna marina, y para



Figura 2. Caracol rosa en acuarios donde se hace la toma de muestras de heces para el análisis de la presencia de microplásticos. *Fotografía:* Dalila Aldana Aranda.

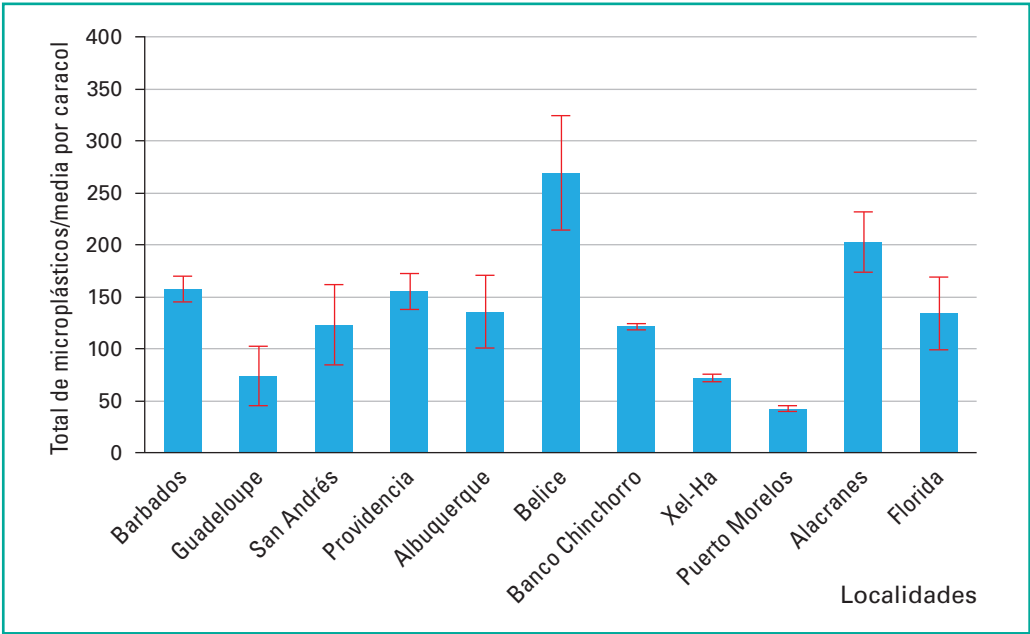


Figura 3. Resultados de la concentración de contaminantes microplásticos en varios sitios del Caribe. *Elaboración:* Dalila Aldana; *diseño:* Martha Enríquez Díaz.

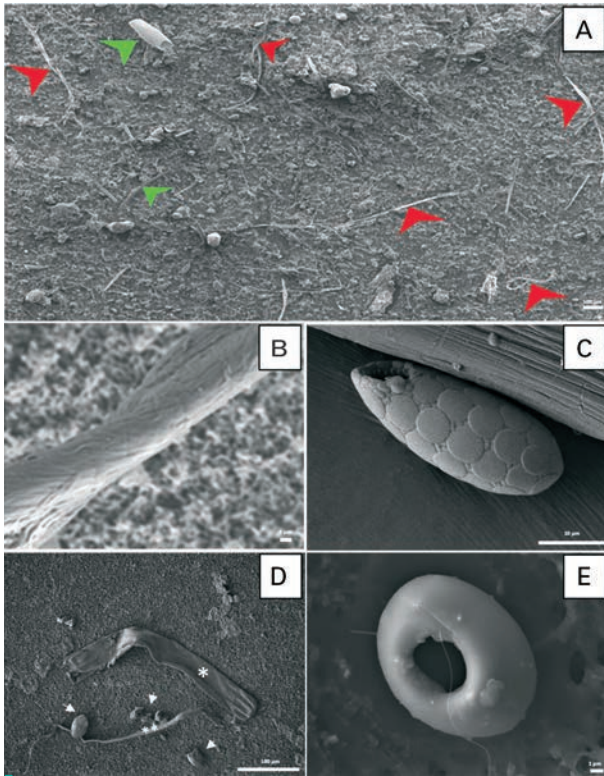


Figura 4. Imágenes de microscopía electrónica de barrido: A) vista general, en rojo, de fibras de microplásticos y, en verde, fragmento de diatomeas; B) y C) fibras de microplásticos colonizadas por microorganismos; D) microplásticos en forma de láminas; E) esferas de microplásticos contenidas en las muestras de heces del caracol rosa. Crédito: Eve Mouret, Marion Bardet y Paul Caillet, tesis de maestría de la Universidad de las Antillas Francesas con el Cinvestav-IPN-Mérida, bajo la dirección de Dalila Aldana Aranda. Fotos tomadas en LANNBio-Área de Microscopía Electrónica de Barrido del Cinvestav-IPN-Mérida.

nosotros al consumir pescados y mariscos, es la gran cantidad de sustancias tóxicas que contienen. Unas provienen de su proceso de fabricación, como el bisfenol, el cual es un interruptor de la madurez sexual; otras sustancias, como los insecticidas, herbicidas y fertilizantes, son absorbidas por el plástico, el cual tiene la capacidad de concentrarlas.

Conclusión

Los resultados de esta investigación demuestran que todo el Caribe está contaminado por microplásticos y que 100% de los individuos de caracol rosa analizados los presentan en sus excretas. Esto debe llevarnos a reflexionar para que modifiquemos nuestras actividades, pues somos la fuente de contaminación de los océanos y su biodiversidad, y al mismo tiempo

estamos provocando consecuencias negativas para nuestra salud. Por otra parte, debemos tener presente que el plástico se produce a partir de petróleo, lo que implica un impacto al cambio climático. La subsistencia del planeta depende del modelo de consumo y producción que tengamos; por lo anterior, es importante que evitemos los plásticos de un solo uso, y en su lugar siempre traer un termo para nuestras bebidas y una bolsa para las compras. Las acciones sencillas, llevadas a una escala planetaria, son efectivas.

Agradecimientos

Investigación financiada por el Caribbean Fisheries Management Council (CFMC). Muestreos realizados en diversos sitios del Caribe por: Hazel Oxenford, University of the West Indies, Barbados; Jairo Medina, Universidad Nacional de Colombia, Campus Caribe, San Andrés; Gabriel Delgado, Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Fish and Wildlife Research Institute, Florida; y Claude Bouchon, Université des Antilles, Guadeloupe, Francia.

Dalila Aldana Aranda

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, unidad Mérida.

daldana@cinvestav.mx

Martha Enríquez Díaz

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, unidad Mérida.

marthaenriquez_1999@yahoo.com

Víctor Castillo Escalante

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, unidad Mérida.

vicas@cinvestav.mx

Referencias específicas

- Andrady, A. L. (2011), "Microplastics in the marine environment", *Mar. Pollut. Bull.*, 62:1596-1605. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>>, consultado el 2 de febrero de 2022.
- Hidalgo-Ruz, V., L. Gutow, R. C. Thompson y M. Thiel (2013), "Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification", *Sci. Technol.*, 46:3060-3075. Disponible en: <<https://doi.org/10.1021/es2031505>>, consultado el 2 de febrero de 2022.

Gilberto Acosta González, Ditzia Valeria Carrillo Rosales y J. Adán Caballero Vázquez

Microplásticos en agua y en organismos

El alto consumo de plástico en México y su mal manejo en los últimos años ha generado un impacto negativo en el ambiente. Una gran cantidad de residuos plásticos llega a los ecosistemas acuáticos, donde se degradan en pequeñas partículas llamadas microplásticos. Este artículo recopila la información actualizada de su concentración, longitud, forma y efectos, a partir de estudios realizados en el país.

México ocupa el lugar número 12 en el mundo por su consumo de plásticos y el lugar 11 por su producción, con una tasa de crecimiento sostenido de 4.8% desde 2009; actualmente se fabrican siete millones de toneladas de plástico al año (Aguirrezabal, 2019). Una gran cantidad de residuos plásticos llega a los ecosistemas naturales desde vertederos mal gestionados o por productos plásticos descargados de forma descuidada. Muchos de estos desechos plásticos son depositados en diferentes matrices ambientales, como aguas y sedimentos, y también se ha demostrado la presencia de residuos plásticos y microplásticos en organismos marinos a partir de estudios científicos realizados en México.

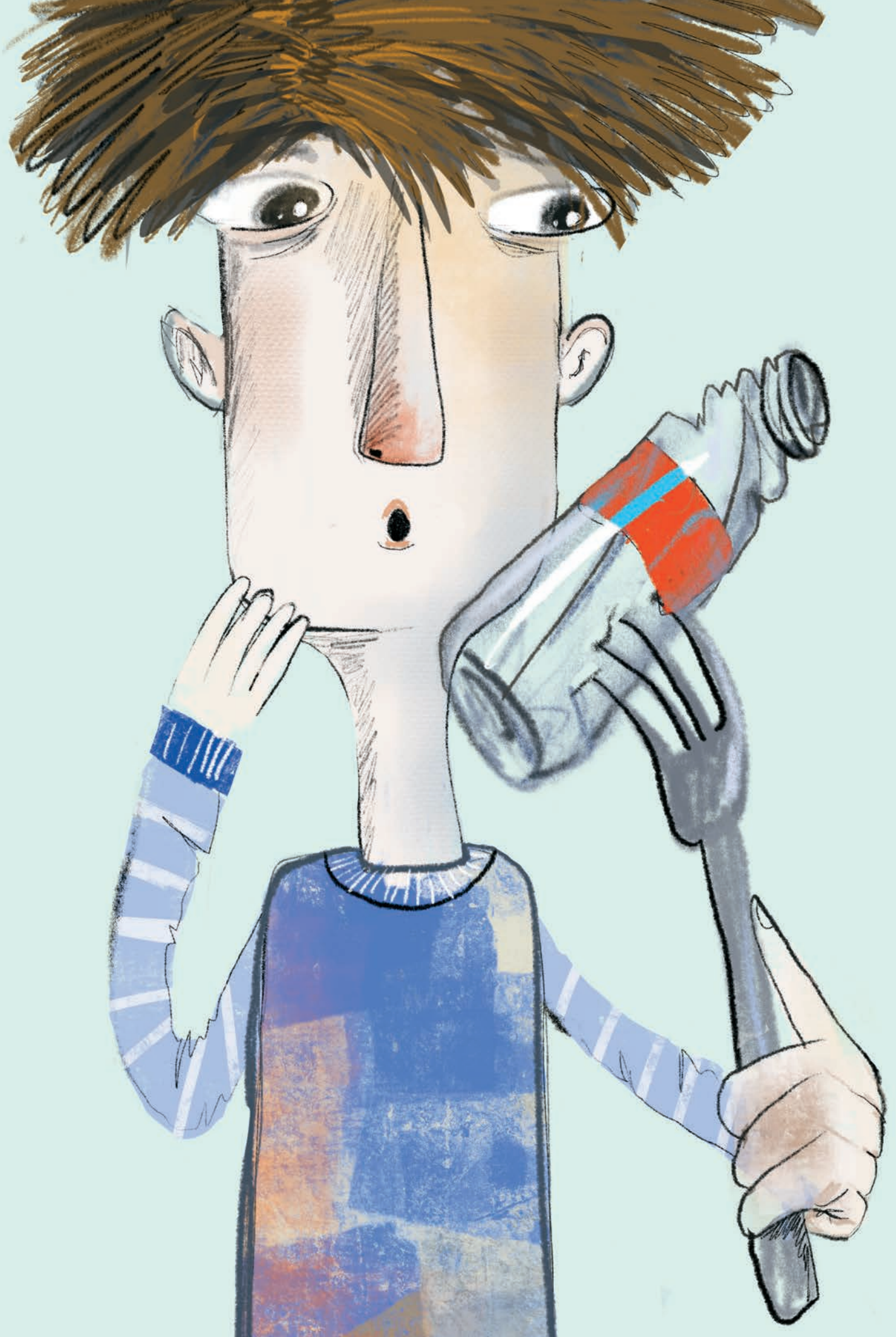
Respecto a las investigaciones publicadas, hasta marzo de 2021 se tienen registrados 19 documentos: 11 artículos y 8 tesis, tanto de maestría como de licenciatura. Los estudios se han llevado a cabo en las costas del océano Pacífico, golfo de California, golfo de México y mar Caribe; no obstante, también hay información que estima la concentración de microplásticos en los sedimentos de un río en Puebla y otro en Tijuana (véase la Figura 1).

Microplásticos

Los microplásticos son cualquier partícula sólida sintética o matriz polimérica, de forma regular o irregular, con tamaños comprendidos entre 1 μm y 5 mm. Estos materiales pueden clasificarse y agruparse tomando principalmente como criterio dos parámetros: forma y origen. Por su forma, en general se identifican como esferas, *pellets*, fragmentos irregulares, fibras, gránulos y películas. Las razones por las que los microplásticos pueden presentar las características de alguna de las

Pellets

Obtenidos por el proceso de compresión de un material a forma esférica, lo que mejora su procesamiento para obtener nuevos productos plásticos.



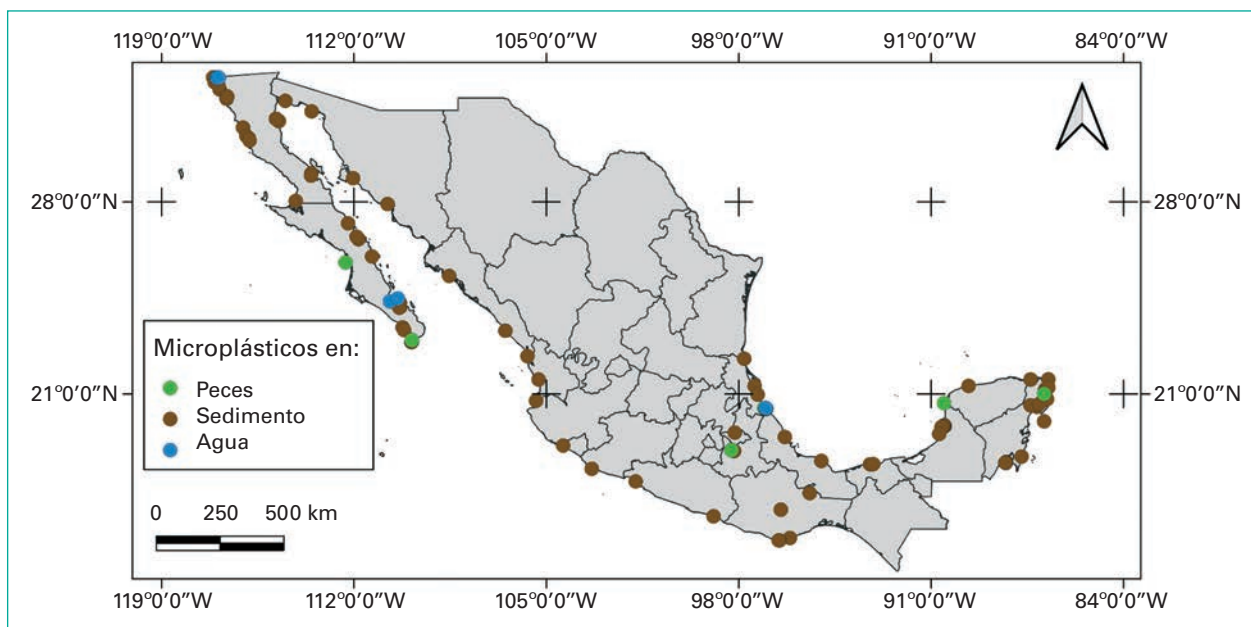


Figura 1. Sitios de muestreo donde se ha estudiado la presencia de microplásticos en México. Elaboración propia con base en información de la revisión bibliográfica y datos del Inegi (división política estatal 1:250 000, 2015).

categorías antes mencionadas son muy diversas, pues dependen de los procesos que haya sufrido el objeto o su material de origen.

En tanto, por su origen, los microplásticos se dividen en dos: primarios y secundarios. Los de origen primario incluyen a las partículas que poseen un diámetro menor de 5 mm desde su liberación al medio; usualmente son *pellets* de la materia prima utilizada en la industria y microperlas o microesferas que provienen de productos cosméticos en los que son utilizadas como exfoliantes, así como para la elaboración de productos de limpieza para el hogar. Por otra parte, los microplásticos de origen secundario son el resultado de la fragmentación y la degradación. El primero de estos procesos ocurre principalmente por la acción mecánica de las olas, vientos, mareas y fricción con la arena. La degradación implica la disminución de su peso molecular mediante diferentes mecanismos, como biodegradación, fotodegradación, degradación termo-oxidativa, degradación térmica, hidrólisis y procesos físicos.

Microplásticos en agua y sedimento

Los microplásticos en el ambiente acuático se pueden encontrar en diferentes entornos. Diversos estu-

dios han demostrado la presencia de microplásticos en agua salada, donde su acumulación es mayor en la zona costera que en mar abierto. No obstante, también se ha reportado la existencia de microplásticos en sistemas de agua dulce, como playas fluviales, aguas superficiales y sedimentos de ríos, lagos y embalses.

Por otra parte, la concentración de microplásticos depositados en los sedimentos es de cuatro a cinco veces más elevada que en el agua; esto es debido a la combinación de diversos factores, como la acción del clima, por lo que sufren procesos de oxidación de manera acelerada. La distribución de microplásticos en el sedimento es desigual porque depende de sus propiedades y la influencia de factores ambientales, como los vientos y corrientes. Se proyecta que 70% de los residuos marinos se hundirán y permanecerán en el sedimento marino (Frias y Nash, 2019).

Microplásticos en organismos

Constituidos por una amplia gama de polímeros y aditivos químicos, los microplásticos pueden ser ingeridos por una gran variedad de organismos acuáticos, con el potencial de causarles daños. Muchos estudios recientes han evidenciado la presencia de microplásticos en organismos, desde pequeños in-

vertebrados, tales como moluscos, hasta grandes vertebrados, como delfines.

Los microplásticos pueden pasar a la biota marina por diferentes rutas. Dependiendo de su modo de alimentación, los organismos pueden ser consumidores directos, al ingerir los microplásticos de los sedimentos o de partículas en suspensión, o bien pueden obtenerlos de manera indirecta, en el caso de depredadores o carroñeros, por medio de sus presas. Al no existir rutas enzimáticas capaces de digerir los polímeros sintéticos, éstos deberían pasar por el organismo sin ser digeridos o absorbidos.

Los peces son los animales marinos más estudiados en cuanto a la presencia de microplásticos. El efecto potencial que la ingesta de microplásticos tiene sobre estos organismos es la mala nutrición, inanición y reducción de las poblaciones, ya que se afecta su reproducción (Cole y cols., 2011). También se han reportado microplásticos en otras especies, como tortuga verde, aves marinas, focas, gusano de arena, delfín rosado, entre otros animales.

Concentración de microplásticos

La distribución de los microplásticos puede ser causada por varios factores, como la cercanía a una planta de tratamiento de aguas residuales, el tráfico de barcos, las actividades de investigación en la zona costera o el transporte por medio de corrientes oceánicas. Específicamente, en México se han encontrado grandes cantidades de partículas microplásticas en sedimentos. Algunos autores reportaron la cantidad de microplásticos por kg, mientras que otros lo hicieron por m². No obstante, el promedio obtenido fue de 547 unidades de microplásticos/kg y 129 unidades de microplásticos/m². Por otro lado, la concentración de microplásticos en agua fue de 2 970 unidades de microplásticos/m³. Asimismo, el promedio de microplásticos encontrados en organismos marinos (peces) fue de 4.5 unidades de microplásticos/individuo.

Longitud

La longitud promedio de los microplásticos encontrados en agua (1.9 mm) es mayor que la de los mi-

croplásticos en sedimento (1.6 mm), lo cual se debe a que en el sedimento los residuos plásticos tienen una mayor velocidad de fotodegradación por las altas temperaturas y la elevada concentración de oxígeno, a diferencia de los materiales plásticos que se encuentran flotando en el mar o que se hunden bajo la superficie (Toledo, 2019). Por otro lado, los microplásticos de menor tamaño (0.9 mm) se han encontrado dentro de los estómagos de los peces, ya que estas partículas, al ser muy pequeñas, son fácilmente ingeridas por los organismos que las confunden con su alimento.

Forma

La diferencia entre la forma de los microplásticos encontrados en agua radica en las actividades de cada región. Las fibras pueden originarse a partir de **efluentes** domésticos, rotura de redes y líneas de pesca; los gránulos se encuentran comúnmente en muchos productos de limpieza y cosméticos o se producen por la descomposición de plásticos degradables más grandes (Cole y cols., 2011); los *pellets* se utilizan como materia prima para la producción de plástico; mientras que las películas pueden provenir de la fragmentación de envoltorios y bolsas de plástico más grandes. Así, cabe considerar que los vertidos de estuarios y aguas residuales podrían incrementar la proporción de fibras, mientras que las playas turísticas podrían tener mayores concentraciones de fragmentos rígidos y espumas, producidos por la degradación de cubiertos desechables y bolsas plásticas (Álvarez Zeferino y cols., 2020).

La fibra fue la forma más abundante de los microplásticos encontrados en los estudios realizados en México, tanto en sedimentos como en peces (véase la Figura 2); esto se atribuye a la alta liberación de partículas microplásticas durante el lavado de textiles y prendas (Cole y cols., 2011). En el agua, la forma más común fue el fragmento; esta forma proviene de la descomposición de muchos productos

Efluente

En hidrología, corresponde a un curso de agua que desde un lugar se desprende en una derivación menor.



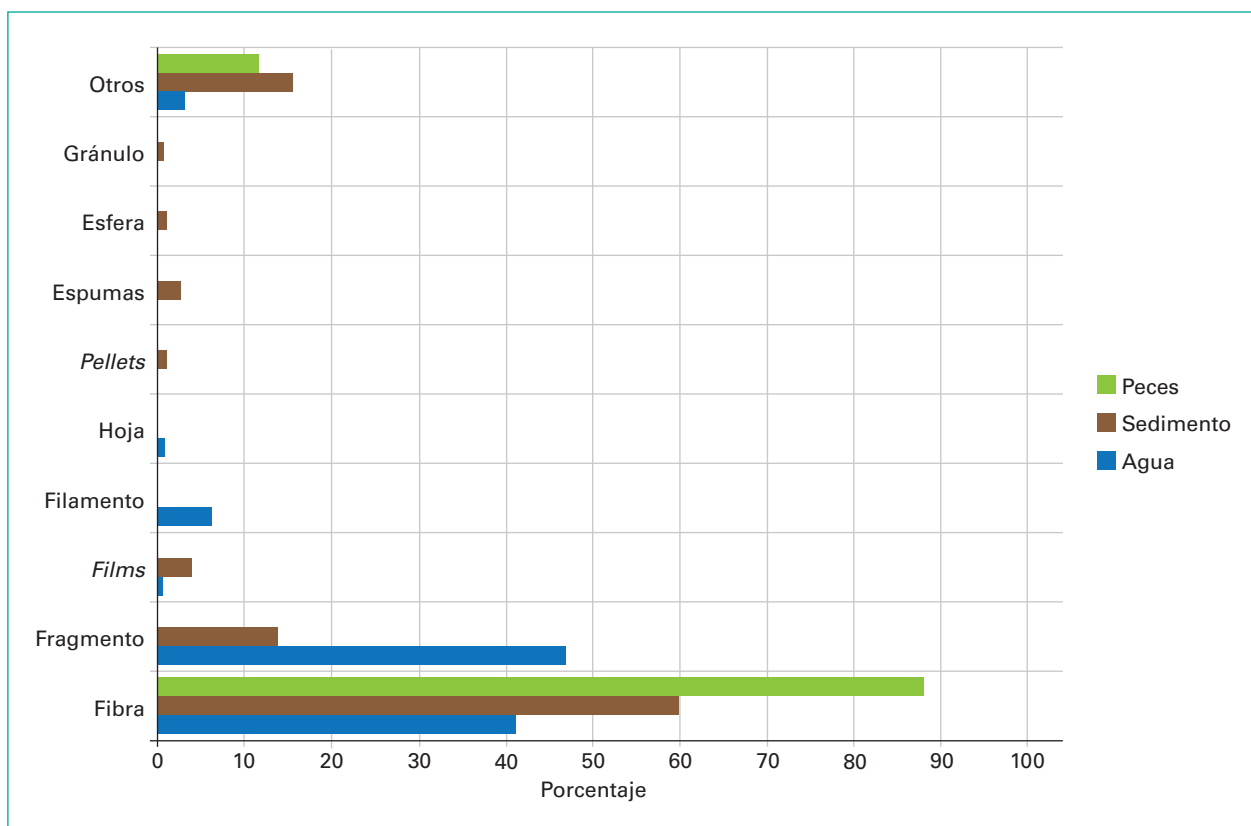


Figura 2. Formas de los microplásticos en agua, sedimento y peces en estudios realizados en México. Elaboración propia con base en información de la revisión bibliográfica.

plásticos, como bolsas y recipientes, así como también materiales de embalaje.

Efectos en los organismos

De los peces muestreados en México, 59% presentaron partículas microplásticas en sus estómagos, lo cual es un alto porcentaje. Además de peces, se han estudiado otros organismos para evaluar la presencia de los microplásticos y sus posibles efectos. Por ejemplo, Angélica Isabel Amaya (2016) reportó que, en la especie de equinodermos conocidos como ofiuros (*Ophiocoma echinata*), la tasa de ingestión varía entre 0 y 248 unidades de microplásticos en un lapso de 48 horas. También evaluó si los microplásticos tienen algún efecto sobre la regeneración de brazo, motilidad y supervivencia en esta especie; sin embargo, no se observó ninguna relación.

Por otra parte, Izchel Romana Gómez (2016) investigó los efectos de los microplásticos de polivinil cloruro (PVC) y fluoranteno en dos especies: una de

poliqueto (*Eupolyornia rullieri*) y una ostra (*Isognomon alatus*). Los resultados obtenidos señalan que el fluoranteno disminuye la cantidad de arena que ambos organismos pueden procesar. También se demostró que en la ostra (*I. alatus*) aumentó el consumo de alimento, al igual que su tasa de respiración. No obstante, no se observó ningún cambio significativo en el crecimiento y en la tasa de mortalidad de ambas especies.

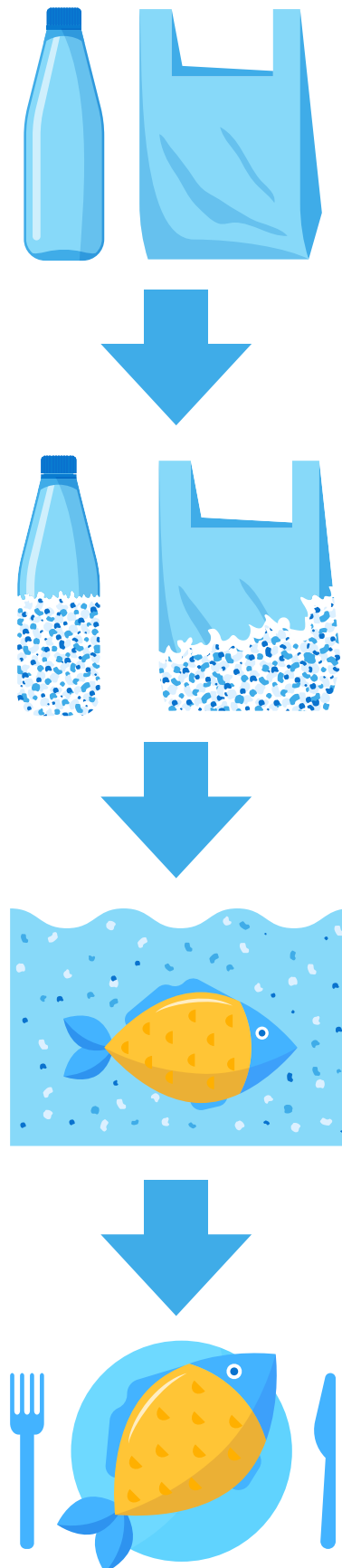
En animales de mayor tamaño, como mamíferos marinos (cetáceos), también se ha demostrado la presencia de microplásticos. Tabata Olavarrieta (2017) reportó los valores de ftalatos encontrados en hembras de la ballena conocida como rorcual común (*Balaenoptera physalus*). Los ftalatos (aditivos químicos de los microplásticos) son disruptores endocrinos que afectan las funciones reproductivas, particularmente durante la gestación o en estadios tempranos del desarrollo, ya que se asemejan e interfieren con hormonas, factores de crecimiento y neurotransmisores.

Por otro lado, Isabel Montserrat Arreola (2020) estudió la relación entre el número de microplásticos encontrados y las colonias de corales lesionadas; sin embargo, no fue posible identificar ninguna relación estadística. No obstante, existen otras investigaciones que sí demuestran los efectos negativos de los microplásticos sobre las colonias de corales. Es importante mencionar que la tendencia de los datos indica que la cantidad de corales afectados fue proporcional a la cantidad de microplásticos registrados.

La ingesta de microplásticos por parte de los organismos puede producir bloqueo intestinal, sensación de saciedad y pérdida de la capacidad para alimentarse, lo que provoca la reducción de las tasas de crecimiento y reproducción debido a la disminución en la ingesta de nutrientes. Una vez en el tracto digestivo, las partículas pueden ser expulsadas o retenidas. De esta manera, los microplásticos y sus sustancias asociadas pueden ingresar a los niveles inferiores de la cadena trófica acuática y transferirse a las siguientes especies.

Otro efecto adverso es que sobre la superficie de los microplásticos pueden adsorberse algunos contaminantes que luego son transportados junto con las partículas. Propiedades como la polaridad y el grado de cristalinidad influyen en la capacidad del material para adsorber estos contaminantes. También se ha demostrado que la electronegatividad de los microplásticos parece ofrecer las condiciones ideales para la acumulación de metales como cobre y cinc. Los llamados **contaminantes emergentes** también son adheridos a los microplásticos en el medio marino; un experimento controlado demostró que los antibióticos sulfadiazina, tetraciclina y trimetoprima pueden ser retenidos por los principales polímeros (Li y cols., 2018).

Por último, es importante destacar que existe cierta interacción entre los microplásticos y los seres humanos. La mayoría de los estudios científicos existentes confirman su presencia en mariscos, por lo que se convierten en la fuente mejor conocida de microplásticos a los cuales se expone una persona. En cambio, las probabilidades de ingesta de estos materiales a partir del consumo de pescados son bajas, considerando el porcentaje de ingreso de partículas



Contaminantes emergentes

Reconocidos recientemente, son sustancias que tienen efectos negativos para el medio, los organismos y la salud.

por los peces y la localización de éstas en el cuerpo de los organismos marinos, ya que usualmente se encuentran en el intestino o en el tracto digestivo, lo que no suele ser consumido por los humanos. Así, la fuente más importante de exposición a microplásticos por medio de la dieta parecen ser los moluscos bivalvos, debido a que en la mayoría de los casos se consume todo el organismo (Wright y cols., 2013).

Conclusión

La gran cantidad de microplásticos encontrados en el ecosistema acuático en México indica que no hay un manejo adecuado ni una buena regulación al respecto, lo que está causando un deterioro ambiental progresivo. Por lo tanto, es de suma importancia ser conscientes del uso del plástico y sus consecuencias. La educación ambiental, la investigación y la implementación de estrictas normativas y leyes son necesarias para evitar que este problema siga proliferando.

A pesar de que los resultados reportados son desalentadores, es posible impulsar pequeñas acciones desde nuestro hogar para detener esta situación. Lo primero es tomar conciencia del gran impacto que generamos como seres humanos, y lo siguiente es tomar acción. Es posible reducir nuestro consumo de plástico si utilizamos otros materiales, como el vidrio o el cartón; también podemos reutilizar y reciclar

ciertos productos plásticos, como bolsas, envases, empaques, etc. Mantenernos informados y actualizados sobre este tema, y en general sobre el cuidado del ambiente, a partir de fuentes confiables, también es de suma relevancia.

La búsqueda de nuevas soluciones, como la implementación de la biorremediación, es fundamental. Esto consiste en aprovechar ciertos microorganismos para recuperar los ecosistemas dañados; en este caso, se podría estudiar la capacidad de ciertas bacterias, hongos o plantas que degraden estos residuos plásticos. La implementación y el uso de nuevas tecnologías también son algo indispensable; por ejemplo, se han diseñado ciertos aparatos capaces de filtrar y degradar los microplásticos. Por lo anterior, la ciencia y la investigación desempeñan un valioso papel en la solución de los problemas ambientales.

Gilberto Acosta González

Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.
gilberto.acosta@cicy.mx

Ditza Valeria Carrillo Rosales

Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.
ditz_carrillo@hotmail.com

J. Adán Caballero Vázquez

Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.
adan.caballero@cicy.mx

MICROPERLAS EN COSMÉTICOS



● ○ ○ ○ ○

ABRASIVOS INDUSTRIALES



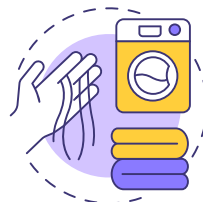
○ ● ○ ○ ○

DESECHOS PLÁSTICOS



○ ○ ● ○ ○

MICROPLÁSTICO PROVENIENTE DE LA ROPA



○ ○ ○ ● ○

NANOPLÁSTICOS



○ ○ ○ ○ ●

Referencias específicas

- Andrady, A. L. (2011), "Microplastics in the marine environment", *Mar. Pollut. Bull.*, 62:1596-1605. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>, consultado el 2 de febrero de 2022.
- Hidalgo-Ruz, V., L. Gutow, R. C. Thompson y M. Thiel (2013), "Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification", *Sci. Technol.*, 46:3060-3075. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/es2031505>, consultado el 2 de febrero de 2022.
- Aguirrezabal, I. (2019), *Ficha sector. Plástico en México 2019*, España, ICEX.
- Álvarez Zeferino, J. C., S. Ojeda Benítez, A. A. Cruz-Salas, C. Martínez-Salvador y A. Vázquez Morillas (2020), "Microplastics in Mexican beaches", *Resources, Conservation and Recycling*, 155:104633.
- Amaya, A. I. (2016), *Evaluación de los microplásticos en la laguna arrecifal de Puerto Morelos, Quintana Roo, México, y sus efectos en la biota, tomando en cuenta como ejemplo una especie de invertebrado béntico: Ophiocoma echinata* (tesis de maestría), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Arreola, I. M. (2020), *Análisis de la concentración de microplásticos en zonas arrecifales de áreas naturales protegidas de Baja California Sur, México* (tesis de maestría), Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Cole, M., P. Lindeque, C. Halsband y T. S. Galloway (2011), "Microplastics as contaminants in the marine environment: a review", *Marine Pollution Bulletin*, 62(12):2588-2597.
- Frias, J. P. G. L. y R. Nash (2019), "Microplastics: finding a consensus on the definition", *Marine Pollution Bulletin*, 138:145-147.
- Gómez, I. R. (2016), *Efecto de los microplásticos de polivinil cloruro (PVC) y del fluoranteno en Eupolymnia rullieri e Isognomon alatus, dos especies del macrobentos del Caribe mexicano* (tesis de maestría), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Li, J., K. Zhang y H. Zhang (2018), "Adsorption of antibiotics on microplastics", *Environmental Pollution*, 237:460-467.
- Olavarrieta, T. (2017), *Abundancia de microplásticos en la bahía de La Paz y niveles de fталatos en el rorqual común (Balaenoptera physalus)* (tesis de maestría), Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Toledo Martínez, M. Á. (2019), *Revisión bibliográfica de los métodos de análisis de micro (nano) plásticos en el medioambiente y en la biota marina* (tesis de maestría), Universidad Nacional de Educación a Distancia (España).
- Wright, S. L., R. C. Thompson y T. S. Galloway (2013), "The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review", *Environmental Pollution*, 178:483-492.

Gisela Maldonado Saldaña, Dalila Aldana Aranda y Vanessa Labrada Martagón

Basura plástica en tortugas del Caribe

Todas las especies de flora y fauna acuática son susceptibles a la acumulación e ingesta de microplásticos, los cuales son potencialmente tóxicos porque durante su manufactura o depósito en mares absorben una serie de sustancias y toxinas que afectan la salud y reproducción de los organismos. En el Caribe mexicano estudiamos la presencia de estos contaminantes en la tortuga verde (*Chelonia mydas*).

Introducción

El desarrollo turístico del estado de Quintana Roo se detonó a principios de la década de 1970 en Cancún, propuesto por el Fondo Nacional de Fomento al Turismo (Fonatur) como un centro integralmente planeado (CIP) que formaría parte del Sistema Regional Turístico de la Riviera Maya. Según cifras de la dependencia gubernamental, actualmente el estado cuenta con una oferta hotelera de más de 107 000 cuartos, con una ocupación anual de 73%, que recibe a 8.7 millones de turistas al año, de los cuales alrededor de 70% son extranjeros. Toda esta carga de turismo masivo supone la demanda de bienes y servicios que generan grandes volúmenes de desechos de todo tipo, entre ellos los desechos sólidos urbanos. Desafortunadamente, el crecimiento de la oferta turística no ha sido acompañado al mismo ritmo por los programas y servicios municipales de recolecta y manejo adecuado de los desechos, por lo que este asunto ha tomado proporciones desastrosas para los ecosistemas marinos y costeros.

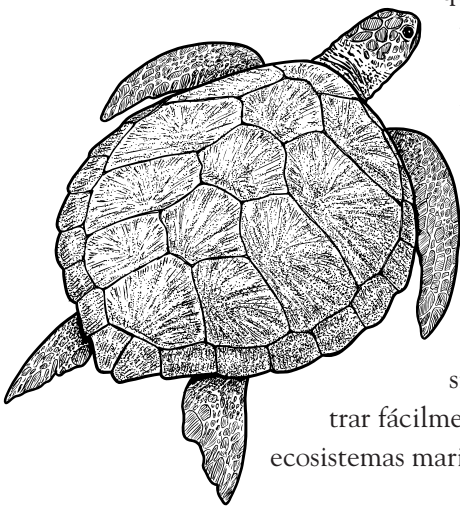
Como parte de las acciones de manejo y control de los residuos sólidos urbanos en el estado, en junio de 2019 se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* la actualización de la Ley para la prevención, gestión integral y economía circular de los residuos del estado de Quintana Roo. Conforme a este instrumento normativo se reconocen 13 principios en materia ambiental y de política pública para la interpretación y aplicación de la ley, entre los que destacan la sostenibilidad, la prevención, el derecho a un ambiente sano y, en particular, el principio sobre la protección del medioambiente marino en zonas de exclusión (islas y áreas naturales protegidas). En dicho principio se establecen las acciones puntuales para la



prevención y el control de la contaminación del medioambiente marino, para la conservación y preservación de la flora y fauna de estas zonas.

Entre los materiales prohibidos para su uso en el estado y sus zonas de exclusión se incluyen los popotes plásticos, envases para bebidas, platos, vasos, tazas, copas, charolas y cubiertos desechables de plástico, productos derivados del poliestireno expandido, anillos de plástico para bebidas enlatadas, así como bolsas de plástico desechables en mercados, supermercados, tiendas de servicio, autoservicio y restaurantes, entre otros. No obstante, este tipo de materiales se siguen consumiendo a la fecha y los desechos llegan al mar, ya sea por acciones deliberadas o por su disposición inadecuada. Los desechos plásticos quedan expuestos a la intemperie, por lo

que se degradan y fragmentan por medio de la abrasión y los rayos solares (luz ultravioleta), hasta quedar como pequeños trozos de diversos tamaños (de nanómetros a centímetros). De esta manera, los plásticos son más susceptibles de convertirse en residuos ubicuos y persistentes, disponibles para entrar fácilmente a las redes tróficas de los ecosistemas marinos y costeros.



El microplástico

Todos los embalajes, envolturas, envases y productos derivados o elaborados a partir de plásticos y diversos polímeros se fragmentarán en partículas menores de 5 mm que constituyen los microplásticos y, a la larga, se incorporarán tanto a las playas como a la columna de agua marina. El término *microplástico* fue acuñado por el investigador Richard Thomson de la Universidad de Plymouth (Reino Unido), en un estudio conjunto con investigadores de la Universidad de Southampton, publicado en 2004 y titulado “Perdido en el mar: ¿dónde está todo el plástico?”. En dicho artículo se hizo referencia por primera vez a los fragmentos plásticos de menos de

5 mm de tamaño. Posteriormente, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos de América (NOAA) amplió su definición a todo fragmento menor de 5 mm susceptible de ser ingerido por los organismos marinos; esta institución, incluso, ha instrumentado una extensa campaña para advertir sobre los peligros que implican estos contaminantes emergentes.

En la actualidad se ha determinado la presencia de microplásticos en todo el planeta, en ambientes tanto terrestres como marinos, donde se encuentran en sedimentos, arena marina, la columna de agua y el agua superficial de todos los océanos, incluida la Antártica. Mediante el uso de redes de arrastre se ha estimado que hay más de cinco billones de trozos de plástico que flotan en los cinco giros marinos subtropicales, de los cuales la gran mayoría casi alcanza los 5 mm de diámetro y su peso en conjunto podría llegar a las 270 000 toneladas.

Efectos de los desechos plásticos en las tortugas marinas

Muchos autores han documentado el ingreso de los microplásticos a las cadenas tróficas de diversos organismos marinos, tanto invertebrados como vertebrados. Los residuos y partículas plásticas que son arrastradas hacia las zonas marinas revisten un especial peligro, pues además de entrar a las cadenas tróficas de la fauna, se suman a los riesgos que históricamente han enfrentado algunas especies, como en el caso de las tortugas marinas. Además del enmallamiento por redes de deriva, la pesca incidental y los varamientos —que ya en sí representan un grave peligro para las especies—, la ingesta de residuos macroplásticos, como bolsas o envolturas, genera problemas adicionales para la salud de estos organismos. El enmallamiento en basura plástica altera el comportamiento y la flotabilidad de las tortugas marinas, lo que favorece la malnutrición y propicia a largo plazo una reducción de las tasas de crecimiento y un aumento de la mortalidad (Santos y cols., 2015). Adicionalmente, los restos plásticos que son ingeridos se acumulan en todo el sistema digestivo de las tortugas marinas, desde el esófago y estómago

hasta los intestinos (Eastman y cols., 2020); estos últimos son el órgano en donde se ha observado mayor acumulación de plásticos. Asimismo, se han reportado casos de ahogamiento y de daños gastrointestinales, como obstrucción y perforación intestinal, relacionados con el plástico (Nicolau y cols., 2016; Colferai y cols., 2017).

Las tortugas marinas tienen diversos hábitos alimenticios (pueden ser omnívoras, herbívoras o carnívoras), por lo que están expuestas a ingerir una amplia variedad de residuos plásticos y microplásticos al momento de consumir pastos marinos o a sus presas. Un estudio con videocámaras en los ambientes costeros demostró que las tortugas marinas confunden fácilmente los desechos sólidos con sus alimentos naturales. Por ejemplo, la tortuga caguama (*Caretta caretta*) y la tortuga verde (*Chelonia mydas*) consumen basura flotante siguiendo un comportamiento similar al de la captura de sus presas (como medusas). La determinación de los colores que predominan en el contenido gastrointestinal de las tortugas marinas ha permitido corroborar dicha hipótesis; los colores encontrados con mayor frecuencia en el sistema gastrointestinal de las tortugas marinas son los transparentes, blancos, azules y negros.

Cabe agregar que la tortuga verde es la especie más susceptible por la exposición a basura plástica, ya que la presencia de restos sólidos en sus órganos y en excretas se observa en 90% a 100% de los ejemplares estudiados. En comparación, la frecuencia en la tortuga caguama es de 35% a 85%. En general, el tipo de restos más frecuentemente observados en las tortugas marinas son los microplásticos (Eastman y cols., 2020).

¿Cómo podrían afectar los microplásticos a las tortugas marinas del Caribe mexicano?

Quintana Roo es el hábitat natural de cuatro especies de tortugas marinas: la tortuga verde del Atlántico (*Chelonia mydas*), cuya población es la más numerosa de la región (véase la Figura 1), seguida de la tortuga caguama (*Caretta caretta*), la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) y muy esporádicamente la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*). Estas especies se

alimentan, reproducen y anidan en toda la costa del estado y están catalogadas en peligro de extinción, de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

En estudios recientemente realizados en distintas bahías de alimentación en la costa de Quintana Roo se han detectado variaciones bioquímicas y alteraciones en el ADN de las tortugas verdes inmaduras; en particular, hay evidencia de respuestas relacionadas a distintos grados de perturbación ambiental y actividad humana. Cuando las tortugas verdes que habitan en la bahía de Akumal, Quintana Roo, son inmaduras, pueden residir hasta por 14 años alimentándose en dicha área antes de alcanzar la talla de anidación para reproducirse; las tasas de recaptura observadas en la zona denotan que existe poco movimiento o intercambio de individuos entre bahías de la misma región (Labrada Martagón y cols., 2017). Lo anterior contribuye a evidenciar la susceptibilidad de esta especie ante cualquier alteración de la calidad del hábitat en las zonas utilizadas para su alimentación.

A partir de 2019, como integrantes de la Red de Microplásticos del Caribe (Remicar) dimos inicio a un proyecto para cuantificar la frecuencia y composición de los microplásticos en la tortuga que habita en la costa de Quintana Roo. Todas las tortugas



Figura 1. Tortuga verde del Atlántico (*Chelonia mydas*) en una zona de alimentación en el Caribe mexicano. Fotografía: Gisela Maldonado Saldaña.

muestreadas fueron inmaduras, con un rango de talla de 49.4 a 66.6 cm de largo curvo de caparazón (LCC). Los resultados preliminares indican que 100% ($n = 6$) de las tortugas verdes presentaron residuos sólidos plásticos en el contenido esofágico. Todos los residuos sólidos detectados en el contenido esofágico fueron fibras (100%, $n = 12$) de color oscuro (50%), transparente (42%), azul (8%), transparente (42%) o azul (8%). Por otra parte, en las muestras de agua superficial colectadas en las bahías de Xcalak ($18^{\circ}17'32.1''$ N; $87^{\circ}49'35.6''$ O), Mahahual ($18^{\circ}42'12''$ N; $87^{\circ}42'45.3''$ O) y Akumal ($20^{\circ}23'42''$ N; $87^{\circ}18'51''$ O) –sitios de alimentación donde fueron capturadas las tortugas marinas– también se detectaron residuos sólidos plásticos ($n = 236$) en forma de fibras (89%), fragmentos (10%) y láminas (1%). Los colores de los residuos encontrados en el agua marina fueron desde el transparente y azul hasta el negro (véase la Figura 2).

La siguiente etapa del estudio consistirá en determinar mediante microanálisis la composición química del tipo de plásticos encontrados. Hasta el momento, se ha determinado que una fibra de aproximadamente 2.14 mm de longitud encontrada en el contenido del esófago de una tortuga marina (62.3 cm LCC) sí tiene una composición plástica (véase la Figura 3).

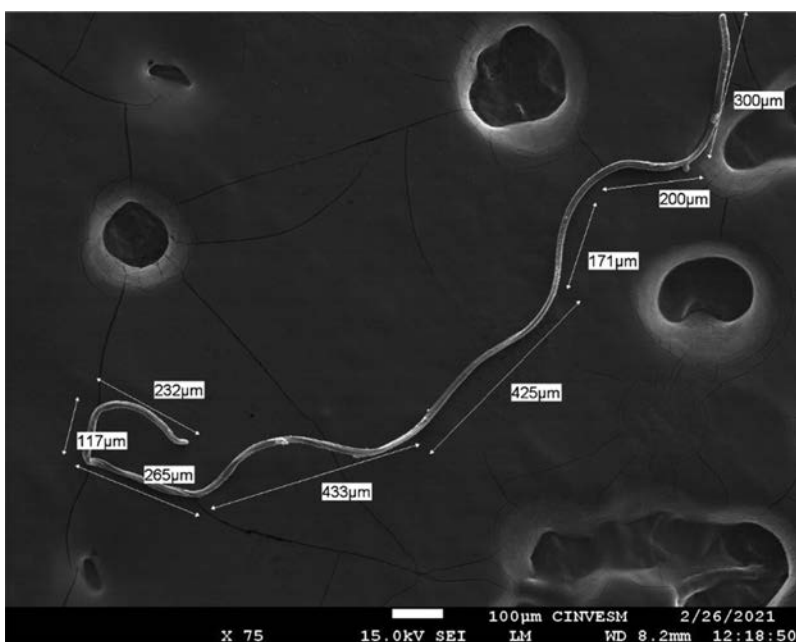


Figura 3. Imagen de microscopía electrónica de barrido de la fibra extraída de una muestra de esófago de tortuga marina. Crédito: Víctor Castillo y Dalila Aldana Aranda, LANNBio-Área de Microscopía Electrónica de Barrido, Cinvestav-IPN-Mérida.

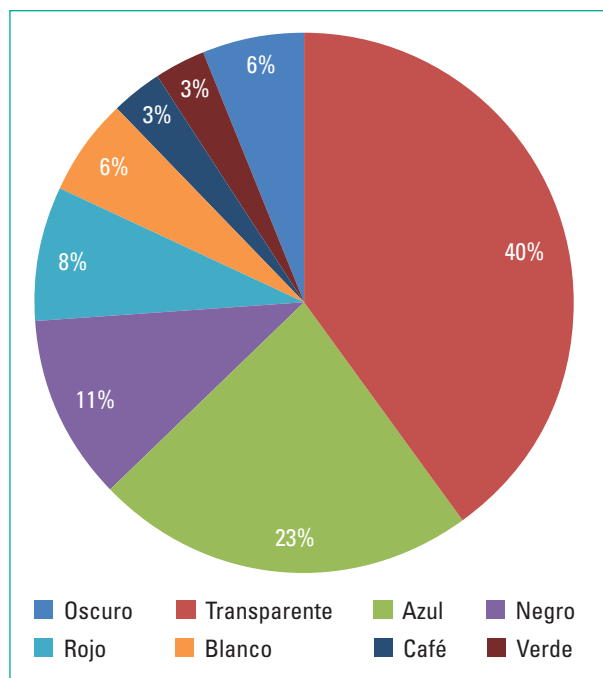


Figura 2. Proporción de residuos plásticos por color detectados en agua superficial de tres zonas de alimentación (Xcalak, Mahahual y Akumal) en la costa de Quintana Roo. Elaboración: Vanessa Labrada Martagón.

Conclusiones

El Caribe mexicano es un hábitat importante para la anidación, crecimiento y desarrollo de cuatro especies de tortugas marinas; la historia de vida de estos organismos (dieta, preferencia de hábitat, tiempos de residencia en sitios de alimentación, longevidad, etc.) y su elevada sensibilidad fisiológica (Labrada Martagón y cols., 2011) convierte a las tortugas marinas en organismos indicadores de perturbaciones como la contaminación por plásticos. Los resultados preliminares de nuestro estudio demuestran que las poblaciones de tortugas marinas que habitan en la costa de Quintana Roo están expuestas a los microplásticos. Debido al crecimiento y desarrollo urbano de la región, se vuelve prioritario continuar los estudios que permitan determinar el nivel de consumo de plástico por parte de las tortugas marinas de Quintana Roo, así como sus posibles efectos en la salud.

Nuestro equipo de trabajo continuará realizando el monitoreo de la presencia de plástico en estos organismos por un método no invasivo, que no requiera capturar a las tortugas marinas y que permita cuantificar de manera indirecta la frecuencia y composición de dichos residuos. El proyecto de investi-

gación tiene como objetivo determinar la frecuencia de tortugas marinas afectadas, la frecuencia de dichos contaminantes emergentes en estas especies en peligro de extinción y, a largo plazo, su relación con biomarcadores del estado de salud de estas poblaciones. Lo anterior permitirá generar un mapa de ocurrencia de estos microplásticos, evaluar la efectividad de las medidas de mitigación adoptadas por el estado para abatir la contaminación de los mares y costas de Quintana Roo, así como dar sustento a mayores y más efectivas medidas de prevención y control de residuos sólidos para ser empleadas por las autoridades, tanto federales como estatales y municipales, en el ámbito de su competencia.

Entre las actividades de la Remicar, y con base en los resultados de los proyectos de investigación conjuntos, se pretende involucrar también a la iniciativa privada, por conducto de las cámaras de la industria hotelera y la restaurantera, para crear conciencia sobre la importancia del cumplimiento en materia de manejo y control de los desechos sólidos urbanos generados en gran volumen por dichas actividades. Asimismo, se producirá material impreso y audiovisual para involucrar a la sociedad y se espera poder dirigir o acompañar campañas de concientización y de generación de soluciones ante el problema

del plástico. De esta manera, también se busca lograr un fortalecimiento del marco regulatorio que dé mayor certeza al manejo y tratamiento de los residuos sólidos, para prevenir la afectación y degradación ambiental.

Agradecimiento

El presente trabajo se realizó bajo el permiso de colecta científica SGPA/DGVS/6729/19. Agradecemos a la pasante de Biología, Mara Daniela Tercero, por su apoyo durante el muestreo y por el procesamiento y análisis de las muestras.

Gisela Maldonado Saldaña

Grupo Tortuguero del Caribe, A. C.
gpotortugueroelcaribe@gmail.com

Dalila Aldana Aranda

Laboratorio de Biología y Cultivo de Moluscos. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, unidad Mérida.
daldana@mda.cinvestav.mx

Vanessa Labrada Martagón

Laboratorio Ecología de la Salud, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
vanessa.labrada@uaslp.mx

Referencias específicas

- Colferai, A. S., R. P. Silva-Filho, A. M. Martins y L. Bugoni (2017), "Distribution pattern of anthropogenic marine debris along the gastrointestinal tract of green turtles (*Chelonia mydas*) as implications for rehabilitation", *Mar. Pollut. Bull.*, 119:231-237. Disponible en: <<http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.053>>, consultado el 7 de febrero de 2022.
- Eastman, C. B. *et al.* (2020), "Plastic ingestion in post-hatchling sea turtles: Assessing a major threat in Florida near shore waters", *Front. Mar. Sci.*, 7:693. Disponible en: <<http://doi.org/10.3389/fmars.2020.00693>>, consultado el 7 de febrero de 2022.
- Labrada Martagón, V., P. Tenorio, L. C. Méndez Rodríguez y T. Zenteno Savín (2011), "Oxidative stress indicators and chemical contaminants in East Pacific green turtles (*Chelonia mydas*) inhabiting two foraging coastal lagoons in the Baja California Peninsula", *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, 154(2):65-75.
- Nicolau, L., A. Marçalo, M. Ferreira, S. Sá, J. Vingada y C. Eira (2016), "Ingestion of marine litter by loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, in Portuguese continental waters", *Mar. Pollut. Bull.*, 103:179-185. Disponible en: <<http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.021>>, consultado el 7 de febrero de 2022.
- Santos, R. G., R. Andrades, M. A. Boldrini y A. S. Martins (2015), "Debris ingestion by juvenile marine turtles: An underestimated problem", *Mar. Pollut. Bull.*, 93:37-43. Disponible en: <<http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.02.022>>, consultado el 7 de febrero de 2022.

Héctor Reyes Bonilla, Lorena Viloria Gómora e Isabel Montserrat Arreola Alarcón

Contaminación marina por microplásticos en la península de Baja California

Este trabajo resume la información obtenida sobre la presencia y los efectos de los microplásticos en los corales, peces y mamíferos marinos que habitan el golfo de California. Los datos muestran que las concentraciones de estos residuos son bajas en el ambiente y en los organismos. Sin embargo, es necesario mantener sistemas de monitoreo para conocer con detalle la evolución de este problema.

El problema de la basura marina

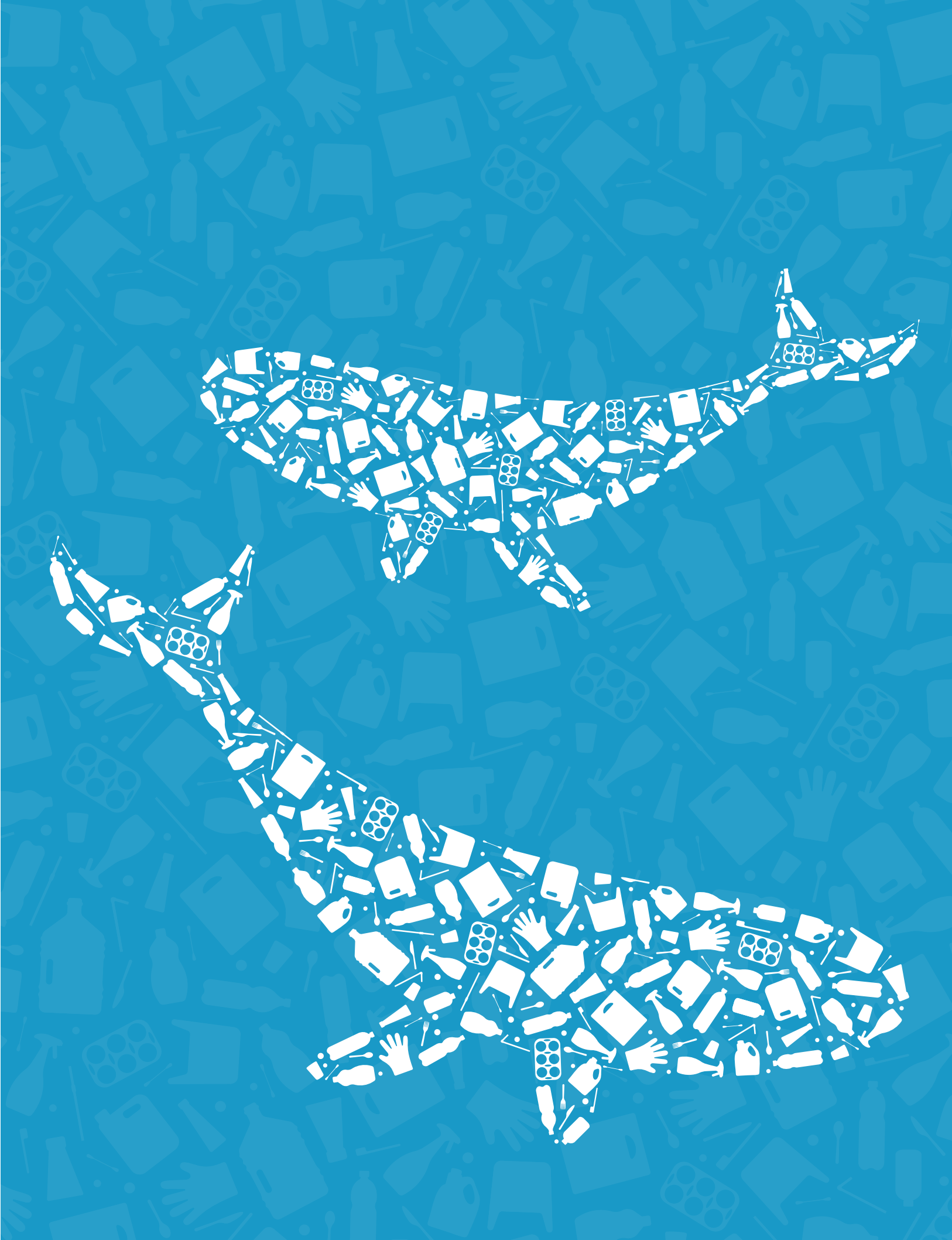
Los océanos han sido parte esencial de la vida de las sociedades humanas desde hace más de 20 000 años, cuando nuestra especie comenzó a surcarlos; además, desde hace siglos hemos incluido a mamíferos, peces e invertebrados marinos en nuestra dieta (Fagan, 2017). Desafortunadamente, el manejo de los mares no ha sido el ideal; un alto porcentaje de los recursos pesqueros se ha sobreexplotado, el exceso de dióxido de carbono en la atmósfera resultado de la quema de combustibles está acidificando el mar (Hilborn y Hilborn, 2019), y recientemente se ha descubierto otro agente que afecta a los ecosistemas marinos: la basura, con un enorme volumen y diversidad de materiales que las personas y las industrias desechan, y que llegan al mar acarreados por el viento o la lluvia, o bien son liberados directamente por los humanos.

Debido al descubrimiento de la “isla de basura” en el norte del océano Pacífico, la opinión pública centró su atención en los microplásticos, que son fibras o fragmentos de un tamaño menor de 5 mm, constituidos por distintos materiales, como tereftalato de polietileno (PET, proveniente de botellas para bebidas), policloruro de vinilo (PVC) y poliamidas (nailon y telas sintéticas). Estos contaminantes han sido localizados desde los polos hasta el ecuador, y desde la **zona intermareal** hasta los mares profundos (FAO, 2017). Además, en pruebas de laboratorio se ha demostrado que pueden afectar a los organismos marinos de manera directa e indirecta.

El objetivo del presente artículo es abordar la información acerca de la presencia de los microplásticos en los sedimentos costeros, la columna de agua y la fauna marina de la península de Baja California, una región reconocida mundialmente

Zona intermareal

Franja de la costa situada entre los niveles que marcan las mareas máximas y mínimas.



por su buen estado de conservación y su alta producción pesquera, y que es estratégica para México dado el gran volumen y la diversidad de servicios ambientales que provee para la sociedad. Por lo anterior, existe un gran interés en conocer el estado de salud de sus ecosistemas para llevar a cabo un mejor manejo de los recursos.

Microplásticos en sedimentos

Los trabajos científicos dedicados a conocer el estado de los sedimentos en playas de la península de Baja California son muy recientes e iniciaron con la publicación de Teresita de Jesús Piñón Colín y cols. (2018), quienes identificaron un promedio de 135 partículas/kg de sedimento en 21 playas a lo largo de la península, tanto del lado del océano Pacífico como del golfo de California. Las playas en el Pacífico presentaron poco más del doble de la abundancia de microplásticos que los sitios ubicados en el golfo. Del lado del océano destacan las zonas con gran intensidad de turismo, como Rosarito en Baja California (entre Tijuana y Ensenada) y Cabo San Lucas en Baja California Sur, con cantidades de entre 230 y 300 partículas/kg de sedimento. Con base en lo anterior, los autores citados proponen que

la descarga de aguas residuales y el turismo son las principales fuentes de contaminantes. Es importante mencionar que 91% de las partículas identificadas eran fibras, que es el tipo más común que se encuentra en otros estudios realizados en todo el mundo.

Por otro lado, Juan Carlos Álvarez Zeferino y cols. (2020) llevaron a cabo una investigación que abarcó 33 playas de todo el país y en la cual se mostró que el golfo de California es la región con la mayor variabilidad en concentraciones de microplásticos por unidad de área, con un pico en los alrededores de las ciudades de Topolobampo en Sinaloa (545 microplásticos/m²) y un mínimo a las afueras de La Paz en Baja California Sur (32 microplásticos/m²). Estas cifras son inferiores a las encontradas en otros análisis hechos en Brasil, Sudáfrica y Corea del Sur (700 piezas/m²), pero además los autores comentan que es posible que haya un factor de sobreestimación, ya que antes del muestreo la región estuvo bajo los efectos de un huracán, y el viento y las escorrentías desde tierra pudieron haber aportado material en exceso a la zona marina.

Asimismo, entre 2018 y 2019 se llevó a cabo una investigación sobre la cantidad y el tipo de microplásticos presentes en sedimentos de la zona intermareal de dos parques nacionales de Baja California



Figura 1. Ejemplo de toma de sedimento en la zona intermareal del Parque Nacional Cabo Pulmo. Crédito: Isabel Montserrat Arreola Alarcón.



Figura 2. Monitoreo del estado de salud de los corales. Crédito: Isabel Montserrat Arreola Alarcón.

Sur: el Archipiélago de Espíritu Santo y Cabo Pulmo (Arreola Alarcón, 2020). Ambos sitios tienen gran relevancia para la conservación, pues el primero está inscrito en la Lista Verde de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el segundo es Patrimonio de la Humanidad, decretado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco).

En las dos áreas se registraron microplásticos (véase la Figura 1), cuya forma más común fueron fibras. Los contaminantes aparecieron principalmente en la temporada cálida (mayo a octubre) y el área con mayor presencia de partículas fue Cabo Pulmo, con un promedio de 113.41 partículas/100 g sedimento, mientras que en Espíritu Santo se encontraron 53.83 piezas/100 g sedimento. La autora sugiere que la mayor concentración en Cabo Pulmo se debe a su ubicación geográfica, cercana a la entrada del golfo de California, que lo hace ser un sitio expuesto al material particulado que viaja con las corrientes desde el Pacífico central mexicano, donde debido a la concentración poblacional, el turismo y la industria, el aporte de desechos plásticos al mar debe ser elevado.

Impacto en los invertebrados marinos

Con respecto a las especies de invertebrados, en el mundo se han llevado a cabo, principalmente, estudios de la concentración de microplásticos en los

tejidos de moluscos y corales, y se ha demostrado que la presencia de estos contaminantes los vuelve más susceptibles a las enfermedades. Considerando estos antecedentes, y el hecho de que no hay trabajos sobre este tema en la costa del Pacífico mexicano, una de las autoras (Arreola Alarcón, 2020) analizó la relación entre la cantidad de microplásticos en el sedimento y la salud de los corales en el Parque Nacional Cabo Pulmo y en el Archipiélago de Espíritu Santo (véase la Figura 2).

La investigación buscó relacionar el número total de partículas de plástico encontradas en los sedimentos de la zona arrecifal con la proporción de colonias de coral que presentan algún tipo de lesiones o síndromes (enfermedades). Los resultados mostraron que la cantidad de plástico no estuvo estadísticamente relacionada con la cantidad de colonias afectadas, probablemente porque la cantidad de partículas por muestra (100 g de sedimento seco) fue pequeña (113 piezas/100 g de sedimento en Cabo Pulmo y 47 piezas/100 g de sedimento en Espíritu Santo); también cabe considerar que más de 80% de los corales estaban en condición sana. No obstante lo anterior, se observó que los corales presentes en sitios con mayores cantidades de plástico tenían valores más altos de afectaciones, lo cual hace pensar que si en el futuro este material llega a acumularse en las zonas de estudio, puede llegar a representar un factor de perturbación para los corales y generar efectos negativos.

Efectos de los microplásticos en peces

En relación con los microplásticos encontrados en peces marinos, se desarrolló un estudio a escala nacional (Greenpeace México, 2017), el cual es importante como referencia básica para conocer la situación dentro del golfo de California. En la investigación se analizaron casi 800 peces de todo el país, y en particular para el golfo se trabajaron los tractos digestivos (esófago, estómago e intestino) de 320 peces de 25 especies, todos provenientes de la captura comercial de la ciudad de La Paz. Esta zona fue elegida porque es donde se desembarca el mayor volumen de pesca artesanal en la península de Baja California.

De los organismos estudiados, en 21% aparecieron microplásticos, en especial fibras posiblemente provenientes de aparejos de pesca, aunque también se encontraron piezas provenientes de la fragmentación de botellas o bolsas (microplásticos secundarios). Los peces presentaron un promedio de apenas 0.34 contaminantes por individuo, con conteos de entre 1 y 7. Al comparar estas cifras con las obtenidas para peces recolectados en el puerto de Veracruz (96% de los peces con microplásticos, con hasta 37 piezas en un individuo) y en Puerto Morelos en Quintana Roo (61% de la muestra con los contaminantes, y un máximo de 45 piezas en un pez), es evidente que la condición de los peces del golfo de California es mucho mejor.

Los tipos de peces mayormente afectados en La Paz fueron las rayas guitarra, los jureles, atunes y lenguados; de éstos, más de 55% de los individuos revisados presentaron microplásticos. En contraste, los pargos, cabrillas y tiburones martillo y perro estuvieron libres de las partículas. Estos resultados indican que los fragmentos plásticos son consumidos principalmente por especies que se alimentan del fondo o en la columna de agua (lenguados, atunes); en cambio, los carnívoros arrecifales (pargos, cabrillas, tiburones) se ven poco afectados. Este resultado también hace pensar que, al menos en esta región de México, la transferencia de plástico entre depredadores y presas es mínima.





Figura 3. Rorcuales comunes alimentándose en el golfo de California. Crédito: Fabián Rodríguez, PRIMMA/UABCS.

La situación de los mamíferos marinos

La interacción que los mamíferos marinos (ballenas, delfines, lobos marinos y focas) tienen con los microplásticos es preocupante. Debido a su amplia distribución, movilidad, estrategias de alimentación y longevidad, los mamíferos son susceptibles a la bioacumulación y la biomagnificación de contaminantes presentes en el mar. Por otro lado, todas las ballenas se alimentan por filtración, lo que las hace vulnerables a ingerir microplásticos de manera directa (aquellos flotando en el agua) e indirecta (los que están dentro de sus presas). Cabe considerar que especies como el rorcual común pueden filtrar hasta 70 000 litros de agua en una bocanada. Pero la preocupación no reside en la ingestión, sino en el hecho de que las piezas contienen sustancias químicas añadidas durante su fabricación, como los **ftalatos**, los cuales pueden causar daños reproductivos a los individuos adultos y afectar el desarrollo de las crías.

El estudio de microplásticos en mamíferos marinos es complejo. Por el tamaño de estos animales, se deben emplear técnicas indirectas, como examinar su dieta por medio de las heces fecales o revisar la cantidad de contaminantes presentes en el agua marina circundante; en el mejor de los casos, se pueden tomar muestras directas de la grasa y piel usando flechas modificadas. Otra fuente de información son los individuos recientemente muertos que están varados en las playas, ya que al ser disecados aportan informa-

ción importante a partir de su contenido estomacal; además, se pueden tomar muestras biológicas de sus órganos en busca de agentes químicos tóxicos.

En México, el único mamífero marino en el que se ha estudiado este problema es el rorcual común, ya que tiene una población residente en el golfo de California (véase la Figura 3). Los trabajos del Programa de Investigación de Mamíferos Marinos de la Universidad Autónoma de Baja California Sur han evaluado la cantidad de microplásticos presentes en muestras de zooplancton –su alimento– y en las heces fecales, además de que han registrado las concentraciones de ftalatos en su grasa y alimento (Fossi y cols., 2016; Goñi Godoy, 2020; Olavarrieta García, 2017). En muestras de zooplancton colectadas en la bahía de La Paz durante 2015 y 2016 (véase la Figura 4) se identificó que 68% de los arrastres presentaban microplásticos con hasta 20 piezas/m³ (con un promedio de 0.21 ítems/m³). Para 2019, en la totalidad de las muestras de agua y de heces fecales se encontraron microplásticos (0.09 partículas/m³ en el agua, y hasta 15 ítems/100 g en las heces); el polietileno y el poliéster fueron los polímeros más abundantes. Comparando entre los datos de ese año para la bahía de La Paz y el norte del golfo de California, la bahía tuvo el mayor número de microplásticos, tanto en zooplancton (0.21 ítems/m³ versus 0.09 ítems/m³) como en heces (0.103 ítems/g versus 0.066 ítems/g). Por otra parte, tanto en el zoo-

◀ Ftalatos

Sustancias químicas, líquidas e incoloras, que se añaden a los plásticos para hacerlos flexibles y resistentes.



Figura 4. Arrastre para colecta de microplásticos en superficie, cerca de La Paz. Crédito: Fabián Rodríguez, PRIMMA/UABCS.

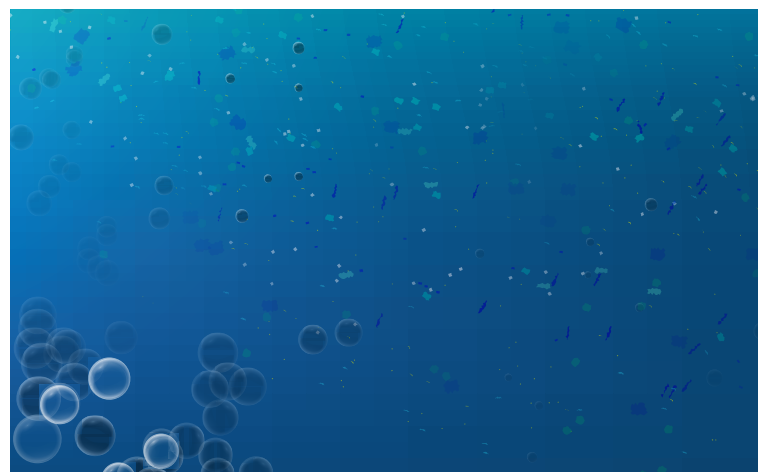
plancton como en la grasa de las ballenas se detectaron seis tipos de ftalatos: los más abundantes fueron el di-(2-etilhexil) ftalato (DEHP), usado como plastificante en artículos de PVC, y el mono-(2-etilhexilo) ftalato (MEHP), producto metabólico del primero y que se ha demostrado como más tóxico a nivel celular y genético.

Por último, al comparar el golfo de California con el mar Mediterráneo –uno de los más contaminados del planeta–, llama la atención que la cantidad de ftalatos en las muestras de zooplancton fueron similares, mientras que las concentraciones en el tejido graso de las ballenas del golfo fueron casi cuatro veces menores que las registradas en el Mediterráneo. Estos resultados indican una importante diferencia en la capacidad de bioacumulación en las ballenas.

La gran pregunta: ¿qué tan dañinos son los microplásticos?

Aún no hay un veredicto definitivo sobre la intensidad del daño que los microplásticos pueden provocar para los organismos marinos en general. Aunque sabemos que la basura marina se encuentra en todos los océanos y existen ejemplos de mortalidad de aves

y mamíferos en diversas partes del mundo, éstos se relacionan sobre todo con los macroplásticos (bolsas, tapas de botellas, materiales de redes, etc.). Por el contrario, los datos para los microplásticos indican que no causan directamente la muerte de los organismos grandes, ya que son bioquímicamente inertes y pueden ser defecados por la mayoría de los individuos. Sin embargo, las sustancias químicas añadidas durante la producción de esos plásticos suponen un riesgo potencial para la salud de los animales marinos, independientemente de su tamaño, ya que su efecto puede ser crónico y acumulativo.



En el caso de la península de Baja California, afortunadamente, las concentraciones de microplásticos son bajas en los sedimentos, en el agua y en los organismos, por lo que es poco probable que en este momento haya consecuencias ecológicas de consideración. Sin embargo, el crecimiento de la población y de las actividades humanas en las costas supone un incremento constante en el aporte de plásticos al mar. Esta circunstancia hace relevante mantener los monitoreos para confirmar la condición de las especies marinas y desarrollar trabajos experimentales para conocer con más detalle el efecto de estas sustancias en la fisiología de los animales. Aún nos queda mucho por aprender para conocer con claridad la magnitud de este problema y pensar en vías para su solución o mitigación.

Héctor Reyes Bonilla

Laboratorio de Sistemas Arrecifales, Universidad Autónoma de Baja California Sur.

hreyes@uabcs.mx

Lorena Vilorio Gómora

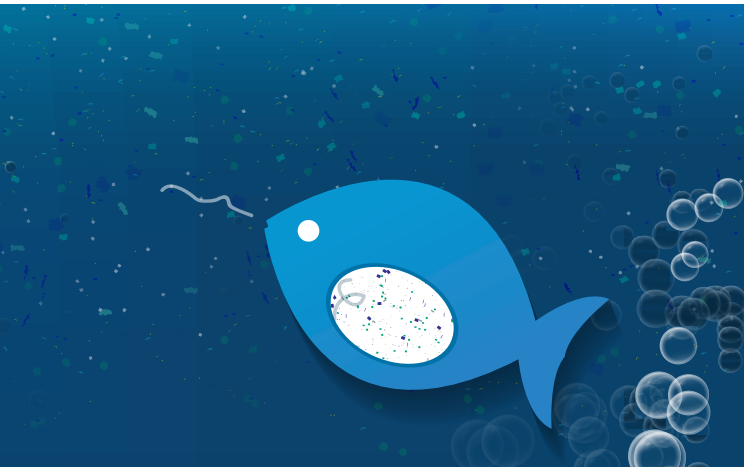
Departamento Académico de Ciencias Marinas y Costeras, Universidad Autónoma de Baja California Sur.

lviloria@uabcs.mx

Isabel Montserrat Arreola Alarcón

Universidad Autónoma de Baja California Sur y Amigos para la Conservación de Cabo Pulmo, A. C.

isabel.arreola@cabopulmoamigos.org



Referencias específicas

- Álvarez Zeferino, J. C., S. Ojeda Benítez, A. A. Cruz Salas, C. Martínez Salvador y A. Vázquez Morillas (2020), "Microplastics in Mexican beaches", *Resources, Conservation and Recycling*, 155:104633.
- Arreola Alarcón, I. M. (2020), *Análisis de la concentración de microplásticos en zonas arrecifales de Áreas Naturales Protegidas de Baja California Sur, México* (tesis de maestría), Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Fagan, B. (2017), *Fishing. How the sea fed civilization*, Boston, Yale University Press.
- FAO (2017), *Los microplásticos en los sectores de pesca y acuicultura*, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ca3540es/ca3540es.pdf>, consultado el 20 de julio de 2021.
- Fossi, M. C., L. Marsili, M. Baini, M. Giannetti, D. Coppola, C. Guerranti, F. Rubegni, F. Calianina, R. Minutoli, G. Lauriano, M. Finoia, F. Rubegni, S. Panigada, M. Berube, J. Urbán R. y C. Panti (2016), "Fin whales and microplastics: The Mediterranean Sea and the Sea of Cortez scenarios", *Environmental Pollution*, 209:68-78.
- Goñi Godoy, G. (2020), *Microplásticos: posible riesgo para la población residente de roscual común (Balaenoptera physalus) del Golfo de California, México* (tesis de maestría), Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Greenpeace México (2017), *Estudio sobre la contaminación por microplásticos en peces de México*, Greenpeace México. Disponible en: <https://www.greenpeace.org/mexico/publicacion/3377/estudio-sobre-el-impacto-de-la-contaminacion-por-microplasticos-en-peces-de-mexico/#:~:text=Estudio%20sobre%20el%20impacto%20de%20la%20contaminaci%C3%B3n%20por%20micropl%C3%A1sticos%20en%20peces%20de%20M%C3%A9xico,-Greenpeace%20M%C3%A9xico%20octubre&text=De%20los%20755%20peces%20muestreados,piezas%20en%20un%20mismo%20pez>, consultado el 3 de febrero de 2022.
- Hilborn, R. y U. Hilborn (2019), *Ocean recovery*, Oxford, Oxford University Press.
- Olavarrieta García, T. (2017), *Abundancia de microplásticos en la bahía de La Paz y niveles de ftalatos en el roscual común (Balaenoptera physalus)* (tesis de maestría), Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Piñón Colín, T. J., R. Rodríguez Jiménez, M. A. Pastana Corral, E. Rogel Hernández y F. T. Wakida (2018), "Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico", *Marine Pollution Bulletin*, 131:63-71.

Arely Areanely Cruz Salas, Alethia Vázquez Morillas y Juan Carlos Álvarez Zeferino

Microplásticos en playas: realidad y percepción

Las personas que visitan las playas de México no siempre son conscientes de la contaminación por residuos sólidos y microplásticos, por lo que tienden a subestimar esta situación. Además de una manifiesta desinformación, esto puede conducir a una falta de acción por parte del gobierno y la sociedad. En este artículo analizamos algunas de las medidas que pueden desarrollarse para enfrentar este problema.

Las playas y su importancia

Las playas se forman por el depósito de distintos materiales: sedimentos como arena, grava, guijarros, restos de coral, conchas de moluscos y plantas acuáticas. Estos sedimentos se generan por el desgaste de las rocas y son transportados por los ríos a la costa. La variedad en el tipo de rocas que se pueden encontrar en distintas regiones del mundo produce playas con una amplia gama de colores y texturas.

Más allá de su belleza escénica única, estos ecosistemas marinos son relevantes porque conforman el hogar de diversas especies, así como un espacio para la reproducción y anidación de animales como las tortugas. Además, protegen contra eventos extremos, como los huracanes o las tormentas. También permiten la extracción y explotación de minerales, arena y rocas. Por último, las playas brindan la oportunidad de llevar a cabo actividades de turismo, recreación y relajación. A todas estas funciones se les conoce como servicios ambientales.

No obstante, a pesar de su importancia, las playas están sufriendo graves alteraciones debido a las actividades humanas, tales como la deforestación de manglares, el cambio de uso de suelo para desarrollos turísticos, la extracción excesiva de arena, la pérdida de hábitats y la contaminación.

Contaminación marina: plásticos y microplásticos

La contaminación marina consiste en la introducción de cualquier sustancia ajena a los hábitats costeros y marinos. Esto incluye diversos tipos de compuestos, como hidrocarburos, metales y plaguicidas, así como materiales sólidos que fueron



desechados al ambiente, conocidos como residuos marinos. Se ha estimado que 80% de los residuos que se encuentran en los ambientes marinos provienen de actividades llevadas a cabo en tierra; en gran parte, los residuos son transportados por los ríos o por eventos como tormentas e inundaciones. El restante 20% se genera en el mar, en actividades de pesca, plataformas petroleras y transporte marítimo.

De entre los residuos marinos más comunes destacan los plásticos. Estos materiales son los más utilizados en la actualidad para múltiples aplicaciones, debido a su ligereza y bajo costo, porque son moldeables y buenos aislantes térmicos, acústicos y eléctricos. De hecho, mientras lees estas líneas, te proponemos que trates de identificar de qué están hechos todos los artículos que veas a tu alrededor en este momento; seguro que la mayoría están constituidos de plásticos, ya sea completa o parcialmente. Tal vez sería un mayor reto identificar aquellos objetos que no los incluyan, pues la producción de plásticos ha aumentado año con año: sólo en 2018 se produjeron 359 millones de toneladas y se espera que su consumo siga creciendo. Con ello también se ha incrementado su desecho como residuos, los cuales, si no son manejados correctamente, van a parar a diversos ecosistemas, particularmente a los hábitats marinos.

Uno de los tipos de residuos que mayor preocupación han generado en los últimos años son los microplásticos. Este término fue mencionado por primera

vez en 2004 por el científico Richard Thompson, y actualmente existe un consenso para considerar en esta categoría a cualquier material plástico menor de 5 mm (aproximadamente el diámetro de la goma de un lápiz) en cualquiera de sus tres dimensiones. Los microplásticos se clasifican como primarios y secundarios. Los primarios son manufacturados con esas dimensiones para cumplir una función en específico; por ejemplo, los *pellets* se utilizan para fabricar botellas de refresco o de crema, entre muchos otros artículos, y las microesferas se incluyen en algunos productos de cuidado personal, como bloqueadores y exfoliantes. Por otro lado, los microplásticos secundarios son resultado de la degradación de los residuos plásticos de mayor tamaño, los cuales sufren la fragmentación al estar sometidos a factores abióticos —como la luz del sol, el viento, la humedad, la temperatura o el desgaste mecánico— y a factores bióticos —como la formación de una *biopelícula*— (véase la Figura 1).

En 2014, los microplásticos fueron considerados por primera vez en el reporte anual del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. A la fecha, la gravedad del problema es evidente, ya que los microplásticos se han vuelto omnipresentes en todos los escenarios posibles: desde los lugares más profundos del planeta, como las fosas Marianas, hasta las montañas más altas, como el Everest; desde las islas más remotas en el océano Pacífico, hasta los ali-

Biopelícula
Capa de materia orgánica formada principalmente por microorganismos que se adhieren a una superficie.

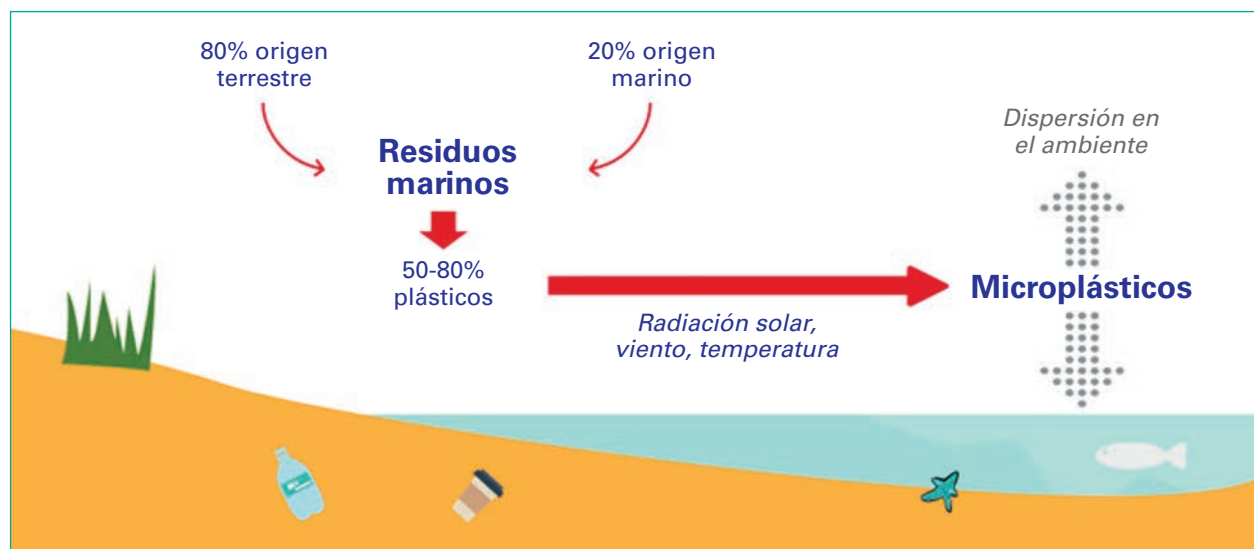


Figura 1. Formación de microplásticos a partir de residuos plásticos en el medio marino. Crédito: ©Microplásticos en Ambientes Marinos.

mentos que ingerimos a diario. Sus efectos en el ambiente son adversos, pues su superficie puede atraer distintos contaminantes. Así, cuando son ingeridos por especies marinas, además de provocar lesiones y daños en los organismos, permiten la introducción de sustancias tóxicas en la cadena alimenticia.

Aunque es imposible retirar todos los microplásticos que se encuentran dispersos en los ecosistemas marinos, la naturaleza puede llevar a cabo procesos de atenuación natural. Por ejemplo, existen microorganismos que pueden biodegradar este tipo de materiales, pero eso les va a llevar mucho tiempo, por lo que sigue siendo necesario evitar a toda costa la entrada de este tipo de contaminantes a los ecosistemas.

La contaminación de playas en México

Distintos grupos de investigación han analizado la contaminación por residuos en las playas; sin embargo, es difícil comparar los resultados porque se emplearon métodos diferentes para recolectar, clasificar y cuantificar los residuos. En un estudio realizado en 2018 por Arely Areanely Cruz Salas (2020), se analizaron con la misma metodología 11 playas de

cinco regiones marinas de México, seleccionadas por su diversidad y riqueza natural. En todas ellas se registró la presencia de residuos, de los cuales los más comunes (57%) fueron plásticos, constituidos principalmente por tapas, cubiertos desechables, popotes, contenedores de alimentos y bolsas. En la misma investigación se analizó la presencia de microplásticos, que también se encontraron en todas las playas en un rango de 95 a 205 piezas/m². Estos residuos y microplásticos pueden tener su origen en las actividades que se realizan directamente en las playas, pero también pueden llegar debido a las corrientes marinas, actividades portuarias, arrastre por ríos y eventos climáticos.

Aunque existe una conciencia generalizada sobre los problemas de contaminación que enfrentan las playas de México, es frecuente que la población no relacione esta situación con su realidad o con las acciones que llevan a cabo. Cruz Salas (2020) también estudió, en cinco de las playas mexicanas, la percepción de sus visitantes con respecto a la contaminación por los residuos sólidos y microplásticos (véase la Figura 2). Llama la atención que, a pesar de la presencia de este tipo de contaminación, ésta no

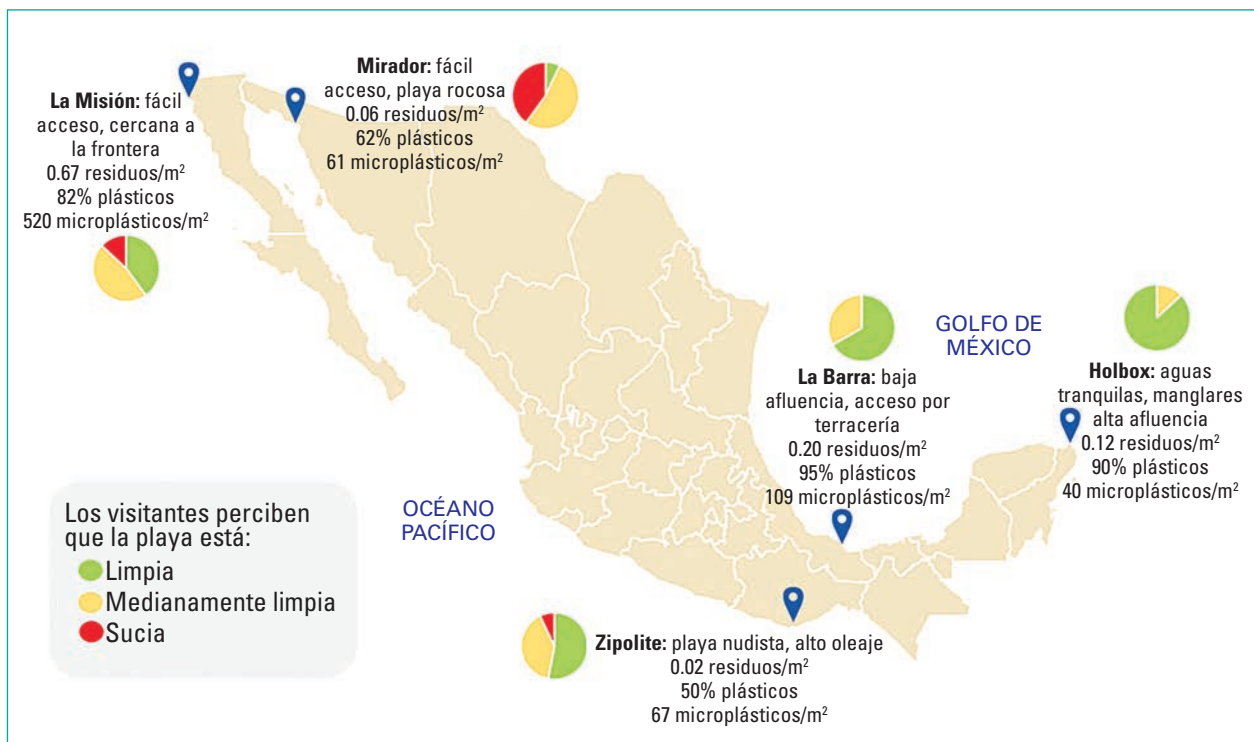


Figura 2. Ejemplos de la presencia de residuos y microplásticos en distintas playas de México. Crédito: ©Microplásticos en Ambientes Marinos.

es siempre percibida de la misma manera por las personas, quienes evalúan a las playas como limpias, intermedias o sucias, independientemente del número de residuos o microplásticos que se encuentren. Esto puede deberse a distintas razones, sobre todo relacionadas con la percepción individual acerca de la cantidad de residuos que puede resultar aceptable o tolerable, lo cual tiene mucho que ver con la experiencia cotidiana por la presencia de residuos en el entorno y su manejo.

La percepción también se relaciona con el conocimiento que se tiene sobre un tema. En el estudio mencionado, la mayoría de las personas entrevistadas desconocían el término *microplásticos*, y sólo 20% tenían una idea de sus posibles efectos. Es importante destacar que la presencia de residuos y microplásticos puede generar, además de los efectos ambientales mencionados, círculos viciosos en los que, al observar la contaminación presente, las personas se sientan menos motivadas a manejar de forma adecuada los residuos, en lo que se conoce como el efec-

to “ventana rota”, referida al contagio de conductas poco cívicas en la sociedad.

¿Qué podemos hacer?

La contaminación por residuos, incluidos los plásticos y microplásticos, está presente en las playas mexicanas en diferentes niveles, aunque en todas pone en riesgo su equilibrio y la posibilidad de tener un aprovechamiento sustentable de los servicios ambientales que brindan a la sociedad. A pesar de ello, las personas que visitan las playas no siempre perciben esta contaminación, o incluso la subestiman. Generar conciencia sobre un problema es el primer paso para llegar a su solución; en la medida en que turistas y habitantes de las zonas costeras estén informados sobre lo que ocurre, prestarán más atención a esta situación y a las formas en que puede prevenirse. La participación en la conservación de nuestros recursos costeros requiere no sólo de educación ambiental, sino de todo un conjunto





de acciones que lleven a la población a considerarse como agentes esenciales en estas tareas. Además de generar las condiciones que permitan y promuevan un manejo adecuado de los residuos en las playas, es importante vincular lo que ocurre en los océanos con las acciones cotidianas de las personas, a partir de las prácticas de consumo, la participación social y la gestión de los residuos. Sólo así podremos enfrentar este problema para aminorar el riesgo que corre uno de los recursos más indispensables para nuestro planeta.

Arely Areanely Cruz Salas

Universidad Autónoma Metropolitana.
areanelyc@gmail.com

Alethia Vázquez Morillas

Universidad Autónoma Metropolitana.
alethia@azc.uam.mx

Juan Carlos Álvarez Zeferino

Universidad Autónoma Metropolitana.
zeferinojuancarlos@gmail.com

Referencias específicas

- Álvarez Zeferino, J. C. (2020), *Factores que inciden en la presencia de microplásticos en playas mexicanas* (tesis de doctorado), Universidad Autónoma de Baja California. Disponible en: http://catalogocimarron.uabc.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=239836&query_desc=au%3A%22Ojeda Benítez%2C Sara%2C%22, consultado el 6 de febrero de 2022.
- Cruz Salas, A. A. (2020), *Evaluación de la calidad ambiental y su relación con la presencia de microplásticos en cinco playas mexicanas* (tesis de maestría), Universidad Autónoma Metropolitana. Disponible en: <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/6843>, consultado el 6 de febrero de 2022.
- Plastics Europe (2020), *Plastics-The Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data*. Disponible en: https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/09/Plastics_the_facts-WEB-2020_versionJun21_final.pdf, consultado el 7 de febrero de 2022.
- Thompson, R. C. et al. (2004), "Lost at sea: where is all the plastic?", *Science*, 304(5672):838. Disponible en: <https://doi.org/10.1126/science.1094559>, consultado el 6 de febrero de 2022.
- UNEP (2014), *UNEP Year Book. Emerging issues in our global environment 2014*, Nairobi, UNEP. Disponible en: <https://digitallibrary.un.org/record/794800?ln=es>, consultado el 6 de febrero de 2022.

Rigoberto Rosas Luis, Claudia González Salvatierra y Mayra Polett Gurrola

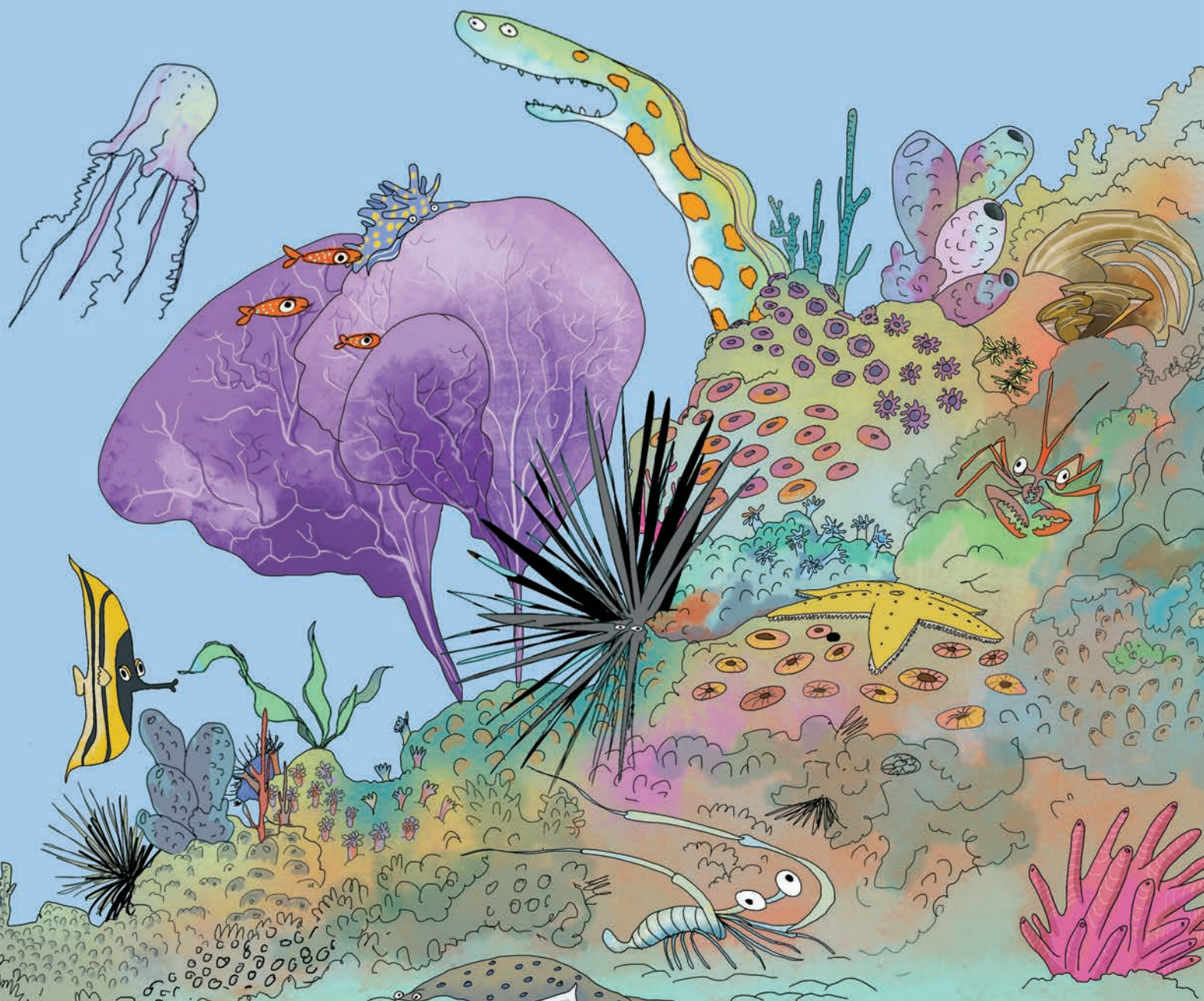
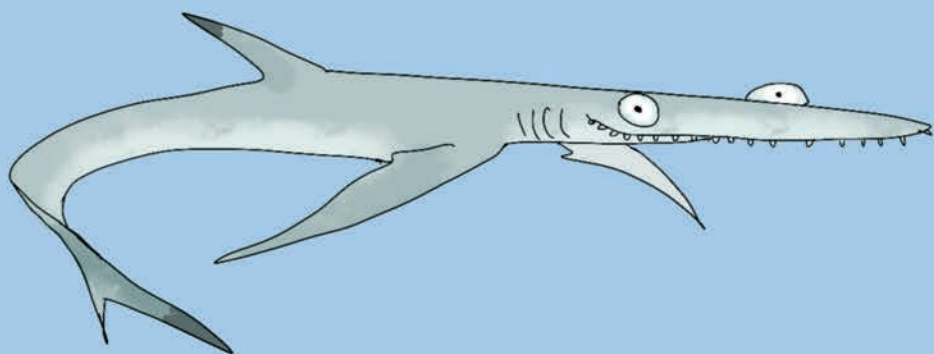
Las dunas del Caribe y su contaminación por plásticos

Estudiamos la duna costera del Caribe mexicano para conocer la acumulación de macro y microplásticos. El polietileno de alta densidad es el principal macrocontaminante y el polietileno tereftalato es el mayor componente de la contaminación por microplásticos. Ambos contaminantes afectan al ecosistema costero, reducen el tiempo de vida de los organismos y provocan otras reacciones adversas.

Introducción

El término *plástico* se refiere a un amplio grupo de materiales sintéticos o semi-sintéticos conformados por compuestos orgánicos que pueden ser moldeados para obtener una multitud de objetos sólidos. Éstos son típicamente polímeros orgánicos que forman largas cadenas, las cuales pueden estar ramificadas o reticuladas entre sí para conformar una red de alta masa molecular que a menudo contiene otras sustancias. Estos polímeros actualmente son uno de los materiales predominantes en el mundo, ya que están ampliamente integrados al estilo de vida de las personas. Así, los plásticos, como resultado de grandes avances tecnológicos, representan un punto de inflexión en la historia del planeta.

En 2010 la producción mundial de plástico se estimó en alrededor de 348 millones de toneladas. La acumulación de los desechos plásticos en los sitios de disposición final ha provocado altos niveles de contaminación tanto en ambientes terrestres como acuáticos, ya que estos materiales pueden ser desplazados por acción del viento y la lluvia. La presencia de plásticos se ha registrado en todos los hábitats; en el ámbito de los ecosistemas marinos, desde playas, aguas superficiales y la columna de agua, hasta sedimentos y profundidades oceánicas. Se calcula que la basura plástica que termina directamente en las aguas costeras puede pesar alrededor de 10 millones de toneladas; casi 80% del plástico que se encuentra en el océano proviene de vías terrestres y 20% es de vías marinas. La principal puerta de entrada de estos residuos es la línea de costa, lo que se relaciona directamente con la densidad poblacional, la ubicación de industrias y zonas de vertederos y la temporada de vacaciones de verano, cuando la basura marina aumenta hasta 40%



como consecuencia del gran número de turistas. Por ello, la presencia de microplásticos es más aguda en lugares donde la navegación es intensa, hay una amplia oferta turística, así como importantes actividades pesqueras e industriales.

La basura plástica se va fragmentando en pedazos cada vez más pequeños debido a diferentes mecanismos de **intemperismo** que actúan de forma individual o en conjunto, como la fotooxidación por rayos ultravioleta, la hidrólisis, el desgaste por abrasión con la arena, por la fricción en flujos turbulentos de agua o la bioasimilación por microorganismos. Además, los plásticos tienen propiedades hidrofóbicas, por lo que al estar en contacto con el agua pueden absorber o aglomerar otros contaminantes del ambiente y retener sustancias tóxicas, como hidrocarburos aromáticos policíclicos, bifenilos policlorados y pesticidas; esto permite su infiltración en diversos ecosistemas y facilita que sean bioacumulados.

Debido a su pequeño tamaño, los microplásticos pueden ser ingeridos accidentalmente por una amplia gama de organismos marinos, y a partir de ello

se integran a la cadena trófica. También se ha visto que la ingestión de microplásticos provoca graves lesiones fisiológicas que conducen a una nutrición deficiente y finalmente a la muerte de los animales.

En el caso de los ecosistemas terrestres relacionados con ambientes marinos, como las playas y dunas costeras, la acumulación de residuos plásticos puede reducir la entrada de luz; esto afecta la supervivencia de las plantas nativas y en el sedimento se producen zonas anóxicas (sin oxígeno), donde los organismos, principalmente artrópodos, son sofocados. Por otro lado, para las personas, la presencia de contaminantes de origen plástico puede afectar la salud cuando los ingerimos indirectamente por el consumo de alimentos que provienen del mar y también por la contaminación del entorno, que además da una mala imagen a los sitios turísticos. El Caribe mexicano, por su belleza natural e importancia para la vida marina, es un sitio prioritario de atención e investigación respecto a los efectos de la contaminación por desechos plásticos, por lo que el propósito de este trabajo fue identificar y cuantificar la presencia de macro y microplásticos, además de caracterizar los componentes acumulados en la playa entre Mahahual y Xahuayxol, al sur del Caribe mexicano.

¿Cómo se investigaron los macro y microplásticos en la duna del Caribe?

El área de estudio escogida se localiza en el estado de Quintana Roo, con un litoral que comprende 865.2 km en el mar Caribe. En la zona, el clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano. La playa entre Mahahual y Xahuayxol es angosta y tiene humedales con manglares, además de arrecifes coralinos cercanos a la costa (a 300 m, aproximadamente); la laguna arrecifal es somera (1-2 m de profundidad) con abundantes pastos marinos y extensas zonas arenosas donde se pueden encontrar varios arrecifes parche (véase la Figura 1).

Para el estudio, se instaló un **transecto** de 15 m perpendicular a la línea de costa y se colectaron muestras de sedimento (aproximadamente 300 g) en cada metro desde el metro 1 y a no más de 5 cm de profundidad. Las muestras fueron trasladadas al

Intemperismo

Acción de desgaste de los materiales al estar expuestos a los factores ambientales.

Transecto

Método de estudio que implica el seguimiento de una línea para la colecta de muestras.



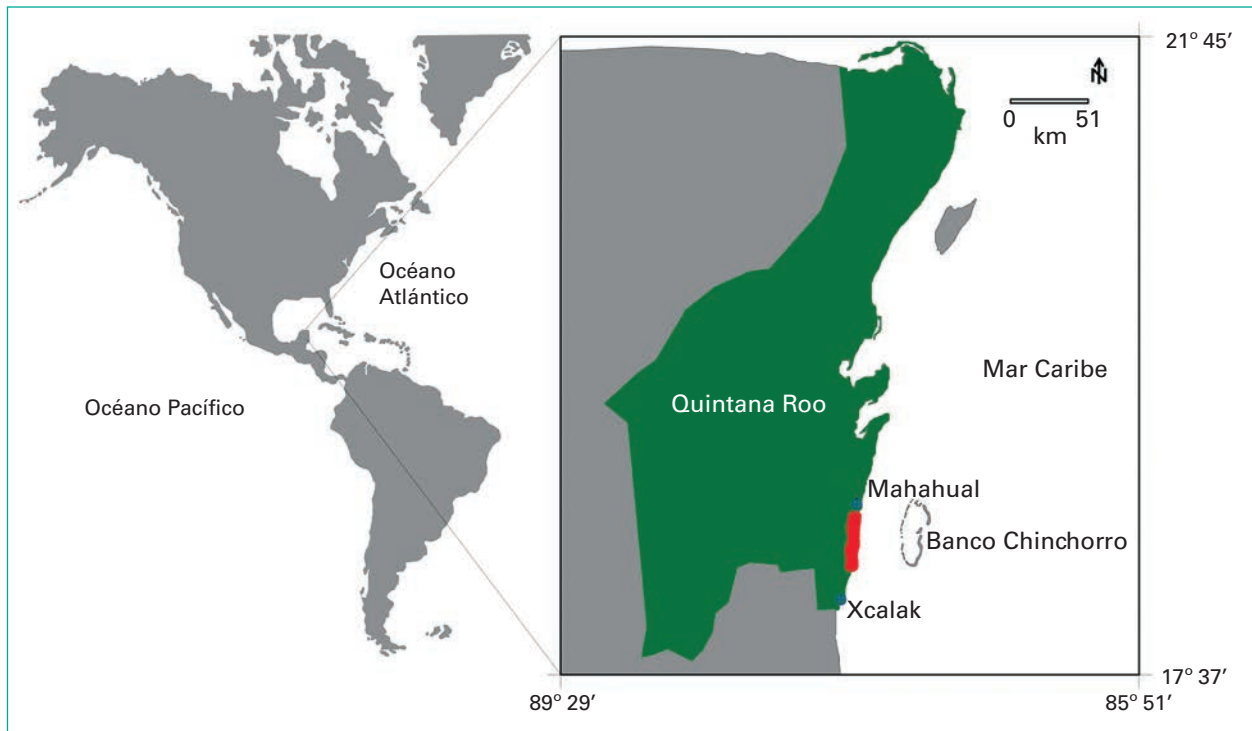


Figura 1. Mapa de la ubicación de las localidades al sur del Caribe mexicano; en rojo se marca la zona de estudio elegida. Elaboración propia.

Laboratorio de Microplásticos del Instituto Tecnológico de Chetumal para su análisis.

Para identificar y cuantificar los macroplásticos se realizó un barrido en cinco transectos de 15×1 m perpendiculares a la línea de costa. Se fueron recolectando todos los desechos inorgánicos (basura), se clasificaron y separaron por tipo: polietileno tereftalato, polietileno de alta densidad, policloruro de vinilo, polietileno de baja densidad, polipropileno y poliestireno, además de vidrio y metal. Por último, se cuantificaron y pesaron los residuos.

Para la separación de microplásticos, en total se analizaron 15 muestras de 100 g de sedimento secadas por 48 horas a una temperatura de 60°C . Se realizó un **tamizado** con malla de 5 mm de luz (la distancia o espacio interior entre los alambres). El resultado se colocó en un matraz previamente preparado con 200 ml de una solución salina filtrada (358.9 g de NaCl en 1 litro de agua desmineralizada; densidad = $9\,043\text{ kg/m}^3$ a 20°C) para separar los microplásticos. La mezcla se agitó manualmente por 2 minutos y se dejó sedimentar. Después de 8 horas, el sobrenadante se filtró con una bomba de vacío y papel filtro de $0.45\text{ }\mu\text{m}$. El papel filtro con el material

filtrado se colocó en una placa de Petri y se dejó a temperatura ambiente hasta obtener un secado total. Posteriormente, se colocó bajo un microscopio estereoscópico con $40\times$ de aumento para cuantificar los microplásticos con tamaños que van de 0.3 a 5 mm. Se anotó la forma (fibra, película, partícula, esponja) de cada microplástico y se agruparon por color (azul, rojo, transparente y anaranjado).

Composición de los microplásticos

Para obtener información sobre la composición de los microplásticos se empleó la técnica de **espectroscopia Raman** en el Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluídica, del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica en Santiago de Querétaro, México (LABMyN-CIDETEC). Este método de análisis estudia la interacción de la luz con la materia para proporcionar información acerca de las propiedades de los materiales; a partir de las vibraciones intra e intermoleculares se produce una marca molecular que permitirá su identificación. Las muestras se analizaron en el espectro Raman en un rango de frecuencias de 50 cm^{-1} a $3\,400\text{ cm}^{-1}$;

Espectroscopia Raman

Método de análisis basado en frecuencias de la luz para identificar componentes.

Tamizado

Método de separación de partículas.



Figura 2. Macrocontaminantes encontrados en el sur del Caribe mexicano: a) plásticos duros, b) vidrio, c) redes y espumas, d) botellas de plástico y redes. Elaboración propia.

sin embargo, para lograr una mejor identificación, se hizo un acercamiento del espectro Raman en un rango de frecuencias de 2 800 cm^{-1} a 3 400 cm^{-1} .

Resultados del muestreo

Los resultados de la colecta de desechos en la playa indican que el plástico es el principal contaminante, con 7 950 residuos contabilizados en total (1 590 residuos por m^2 de costa) y con un peso de 22.467 kg

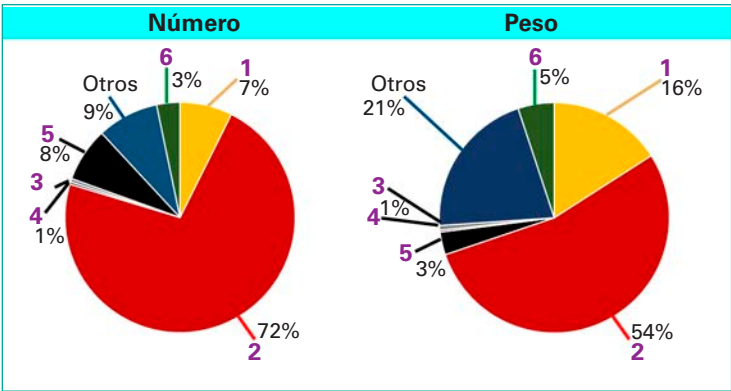


Figura 3. Porcentajes del número y peso de los diferentes macroplásticos encontrados a lo largo de la costa: 1) tereftalato de polietileno, 2) polietileno de alta densidad, 3) cloruro de polivinilo, 4) polipropileno, 5) poliestireno, 6) poliamidas. Elaboración propia.

(4.493 kg por m^2 de costa). En segundo lugar, se encontraron 170 residuos de vidrio (35 residuos por m^2 de costa) con un peso de 6.750 kg (1.350 kg por m^2 de costa). Por último, los metales (latas de cerveza), con 5 residuos en total (un residuo por m^2 de costa) y un peso de 0.170 kg (0.034 kg por m^2 de costa) (véase la Figura 2). Con respecto a los tipos de plástico encontrados, el polietileno de alta densidad representa el mayor porcentaje, tanto en número como en peso, seguido del tereftalato de polietileno, poliestireno y –en menor porcentaje– cloruro de polivinilo (véase la Figura 3).

Concentración de microplásticos

Se encontró una concentración de 21.99 g de microplásticos en una muestra global de 1 500 g de sedimento, lo que equivale a 1.46%. El análisis visual de los datos mostró que, en el perfil de playa, desde el punto cero hasta los 15 m, la concentración de microplásticos es similar entre los puntos 0 y 9; después del metro 9 y hasta el metro 12, la concentración aumenta; por último, del metro 12 al metro 15, la concentración disminuye (véase la Figura 4). Es importante comentar que después del metro 12 ya se observa presencia de vegetación.

Caracterización de microplásticos

El análisis de los microplásticos por espectroscopia Raman indicó que el color transparente es el más frecuente, seguido de los microplásticos de color azul; de los colores rojo y anaranjado no se contó con su-

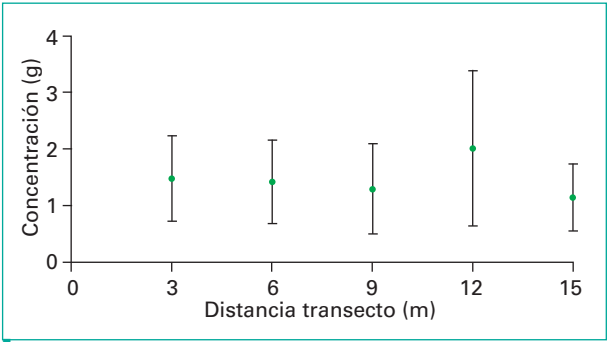


Figura 4. Promedios y desviación estándar de la concentración de microplásticos en el perfil de 0 a 15 metros de forma perpendicular a la línea de costa. Elaboración propia.

ficientes muestras, por lo que no se analizaron. La identificación con acercamiento del espectro Raman en un rango de frecuencias de $2\,800\text{ cm}^{-1}$ a $3\,400\text{ cm}^{-1}$, con base principalmente en las **vibraciones de estiramiento**, indicó que las muestras están compuestas en su mayoría de polietileno, polipropileno, cloruro de polivinilo y tereftalato de polietileno. En específico, los microplásticos transparentes estuvieron compuestos de polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno y cloruro de polivinilo. Por otro lado, los microplásticos de color azul tuvieron una composición de polietileno, tereftalato de polietileno y cloruro de polivinilo. Por último, las fibras y espumas estuvieron compuestas de cloruro de polivinilo y tereftalato de polietileno (véase el Recuadro 1).

Implicaciones

En las costas del sur del Caribe mexicano, la evidencia de la contaminación por plásticos es notable. Este estudio revela los tipos y las cantidades de plásticos depositados en una de sus playas y demuestra el impacto ambiental que se genera tanto en el paisaje como en el ecosistema.

México produce alrededor de siete millones de toneladas de plástico al año y, de ellas, 48% son botellas de refrescos y agua, además de empaques (Rivera-Garibay y cols., 2020), los cuales se encontraron como componentes de los desechos sólidos en este trabajo. Los principales macrocontaminantes son los plásticos y destaca la presencia del polietileno de alta densidad, identificado en objetos como tuberías, placas y envases. Esto es un resultado directo de la producción de materiales de un solo uso. Desafortunadamente, en México no tenemos la costumbre de separar y reciclar los desechos; es así como desde 1950 solamente se ha reciclado 9% del plástico producido en el país. Por ello, es evidente que se requiere una estrategia nacional que ayude a reducir el consumo de plásticos y hacer del reciclaje un hábito de nuestra vida cotidiana.

En un cálculo básico del peso de los plásticos presentes en la zona costera de Quintana Roo, considerando 900 km de costa, se tendrían 4 043 700.00 kg de plásticos acumulados en las playas. Esta cifra es

alarmante por el impacto que los desechos ocasionan en la región.

Las dunas costeras del Caribe mexicano corren el riesgo de perder su diversidad por la presencia de polietileno de alta densidad, tereftalato de polietileno, cloruro de polivinilo, polipropileno y poliestireno. Los organismos invertebrados, como los artrópodos que habitan en la arena, podrían estar en un peligro

Vibraciones de estiramiento
Movimiento de acercamiento y alejamiento de los átomos unidos en las moléculas.

Recuadro 1. Tipos de microplásticos que contaminan las dunas costeras en el Caribe

Los microplásticos, estructuras de tamaños menores de 5 mm, existen en diversas formas y colores; pueden ser espumas y fibras, transparentes o azules, por mencionar algunos ejemplos. A simple vista es posible identificar los fragmentos de plástico de colores en el rango de tamaño de 2 a 5 mm; sin embargo, esto es difícil cuando las partículas de plástico tienen un tamaño de 1 mm o menos, por lo que para la identificación o cuantificación de microplásticos es necesario tener técnicas más poderosas, como la espectroscopia Raman.

En este trabajo, los principales componentes identificados en los microplásticos fueron el polietileno (PE), encontrado principalmente en bolsas de plástico; polipropileno (PP), componente básico de las cuerdas; cloruro de polivinilo (PVC), presente en tuberías y revestimientos; así como tereftalato de polietileno (PET), usado en la fabricación de envases, como botellas de refresco (véase la Figura 5).

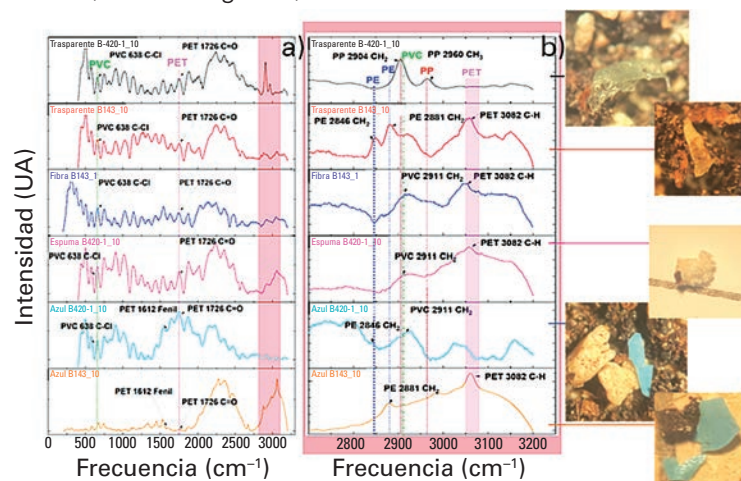


Figura 5. Espectro Raman completo analizado: a) en un rango de frecuencias de 50 cm^{-1} a $3\,400\text{ cm}^{-1}$; y b) un acercamiento entre las frecuencias de $2\,800\text{ cm}^{-1}$ a $3\,400\text{ cm}^{-1}$. Elaboración propia.

similar al que enfrentan las lombrices, que disminuyen su tiempo de vida y pierden peso corporal en presencia de polietileno de alta densidad (Boots y cols., 2019). Los artrópodos que habitan en el sedimento de las dunas costeras son esenciales para la incorporación de nutrientes, pero su disminución por efecto de los macro y microplásticos podría desencadenar problemas de erosión y desertificación.

Al mismo tiempo, la vegetación de la duna costera, fundamental para la estabilidad de la arena, también se vería afectada, ya que se podría disminuir la germinación de las semillas y el establecimiento de plántulas debido a cambios en el microambiente por el aumento de la temperatura, la absorción de aditivos y los cambios en la composición del suelo. Asimismo, el peso de los contaminantes provocaría la asfixia de las plántulas y el efecto de sombreado de los escombros reduciría los niveles de luz necesarios

para el crecimiento. Todo esto provocará áreas desnudas y fragmentadas de vegetación, lo que las hace más vulnerables ante el establecimiento de especies invasoras (Kühn y cols., 2015).

Impacto de los microplásticos

La identificación de polietileno tereftalato como el mayor componente presente en todas las muestras de microplásticos analizadas, así como la presencia de polietileno, polipropileno y policloruro de vinilo, confirma la abundancia de estos materiales y su uso en las actividades humanas, y se podría inferir una relación directa con su acumulación en el Caribe mexicano. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México calculó una producción de 9 000 millones de botellas de plástico de tereftalato de polietileno por año, lo cual tiene una relación



directa con los resultados encontrados en la playa de este estudio. Como consecuencia de la acumulación de estos compuestos se puede observar el declive de las poblaciones de organismos que habitan en las dunas costeras (Rivera-Garibay y cols., 2020), ya que pueden ingerir este tipo de compuestos y acumular **polibromodifenil éteres**, que son compuestos químicos tóxicos persistentes en el ambiente.

Por último, se debe entender el impacto de los microplásticos en el ecosistema desde un punto de vista integral con respecto a las redes tróficas; si los organismos de la base están consumiendo estos microplásticos, y los aditivos tóxicos que contienen, entonces comienza una cadena de transmisión y acumulación hacia los depredadores. De esta manera, nuestras dunas costeras se encuentran en un grave riesgo por la acumulación de microplásticos, ya que son ecosistemas frágiles y en latente peligro de desaparecer.

Rigoberto Rosas Luis

Instituto Tecnológico de Chetumal.
riroluis@yahoo.com.mx

Claudia González Salvatierra

Instituto Tecnológico de Chetumal.
claudia.gs@chetumal.tecnm.mx

Mayra Polett Gurrola

Instituto Tecnológico de Chetumal.
mayra.pg@chetumal.tecnm.mx

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo recibido de parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por medio del Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluídica (LN-2021-315871 y LN-2022-321116), así como del Laboratorio de Caracterización e Identificación de Micro y Nanoplásticos del Sureste (MicNaSuR 316719) y del proyecto TecNM 11225.21-P “Evaluación diagnóstica de la zona costera Mahahual-Xcalak a través de su mesofauna y su cobertura vegetal en sus dunas”. Gracias a los estudiantes del Instituto Tecnológico de Chetumal que apoyaron en la colecta y el procesamiento de muestras: Miguel Ceballos, Brandon Manzanilla, Alexei Elías y Diana Marín.

Polibromodifenil éteres

Compuestos sintéticos difíciles de quemar, usados en plásticos de protección para alimentos.

Referencias específicas

- Boots, B., C. Russell y D. Green (2019), “Effects of Microplastics in Soil Ecosystems: Above and Below Ground”, *Environmental Science & Technology*, 53(19):11496-11506. Disponible en: <<http://doi.org/10.1021/acs.est.9b03304>>, consultado el 11 de febrero de 2021.
- Cole, M. P., C. Lindeque, T. Halsband y S. Galloway (2011), “Microplastics as contaminants in the marine environment: A review”, *Marine Pollution Bulletin*, 62:2588-2597.
- De la Torre, G. E. (2019), “Microplásticos en el medio marino: una problemática que abordar”, *Revista de Ciencia y Tecnología*, 15:27-37.
- Kühn, S., E. L. Bravo Rebolledo y J. A. van Franeker (2015), “Deleterious effects of litter on marine life”, en: M. Bergmann, L. Gutow y M. Klages (eds.), *Marine Anthropogenic Litter*, Cham, Springer, pp. 75-116.
- Rivera-Garibay, O. O., L. Álvarez-Filip, M. Rivas, O. Garelli-Ríos, E. Pérez-Cervantes y N. Estrada-Saldivar (2020), *Impacto de la contaminación por plástico en áreas naturales protegidas mexicanas*, México, Greenpeace México.

Participación ciudadana ante la contaminación por plásticos

El objetivo es sensibilizar a la comunidad universitaria con respecto a los artículos plásticos que usan y desechan en su hogar, así como identificar y caracterizar el plástico presente en las playas del Caribe mexicano para aportar información que ayude a mejorar la condición ambiental de Quintana Roo. Resalta la importancia de la metodología para determinar la cantidad y el peso del plástico encontrado.

Introducción

En todo el mundo, la basura en los océanos está dominada por plásticos (Rudyansyah y cols., 2019); de ocho millones de toneladas de residuos sólidos que se vierten al océano cada año, 90% son plásticos (Rojo y Montoto, 2017). La contaminación por estos desechos genera diversos problemas con repercusiones importantes para diferentes sectores, como la industria pesquera, ya que los residuos plásticos pueden enredarse y dañar los equipos que son utilizados como transporte, así como para el turismo (Cole y cols., 2011); en el ámbito ecológico, se ocasiona un daño a la fauna marina cuando los plásticos ingresan a la cadena trófica o cuando se enredan con las redes de pesca (Andrady, 2011). Los compuestos orgánicos (como el bisphenol A), presentes directa o indirectamente en los plásticos, pueden causar efectos adversos, como cambios en el comportamiento (Browne y cols., 2013) y alteraciones endocrinas (Halden y cols., 2010; Teuten y cols., 2009); asimismo, pueden bioacumularse en los organismos marinos cuando éstos ingieren residuos plásticos (Rochman y cols., 2013). Algunos estudios (Endo y cols., 2005; Heskett y cols., 2012) han puesto en evidencia la presencia de sustancias denominadas PBT (en inglés, *persistent bioaccumulative and toxic substances*) en los residuos plásticos recolectados en las playas, las cuales se **adsorben** en dicho material (Engler, 2012). También se ha registrado la presencia de metales (Rochman y cols., 2014).

Adsorber

Atraer y retener en su superficie moléculas o iones de otro cuerpo.

México cuenta con una gran biodiversidad, recursos naturales y playas paradisíacas a lo largo de su litoral en el océano Pacífico, el golfo de México y el mar Caribe. Sin embargo, Juan Carlos Álvarez Zeferino y cols. (2020) han reportado



la presencia de residuos plásticos en el golfo de California, golfo de México y algunos sitios del Caribe mexicano, como Mahahual, Playa del Carmen y Cozumel. Las investigaciones indican que 80% de los residuos proviene de actividades recreativas y pesqueras, debido a malas prácticas y a un inadecuado manejo de los residuos sólidos.

Por lo anterior, la Universidad del Caribe y la organización Parley for the Oceans México, como parte de su convenio de colaboración, actualmente llevan a cabo diferentes proyectos y acciones; por ejemplo, la estrategia A. I. R. (de *avoid*, *intercept*, *redesign*, que en inglés significa “evitar, interceptar, rediseñar”). El objetivo de dicho estudio es sensibilizar a la comunidad universitaria ante el problema de los desechos plásticos que se encuentran en los hogares, así como identificar y caracterizar el plástico presente en las playas del Caribe mexicano, para aportar información que contribuya a que se mejore la condición ambiental de los ecosistemas marinos en Quintana Roo.

La estrategia A. I. R. tiene tres componentes: A (*avoid*) se refiere a evitar el consumo de plástico a partir de la concientización y la educación ambiental; I (*intercept*) significa interceptar los residuos plásticos cuando ya están dañando a nuestros ecosistemas y especies marinas, o bien implementar acciones para evitar que estos residuos lleguen a los océanos; por último, R (*redesign*) está enfocada en el rediseño de materiales y métodos que promuevan la activación de las personas jóvenes para que busquen soluciones innovadoras, además de que ayuden a identificar y caracterizar el plástico al aportar información local –la cual es escasa– y, con esto, se contribuya a mejorar la condición ambiental de las playas de Quintana Roo.

Metodología

Sitio de estudio

Este proyecto se implementó en Quintana Roo, estado ubicado al sureste de México, en la península de Yucatán; sus coordenadas son: al norte 21°36'20" N, al sur 17°53'38" N, al este 86°42'37" O, y al oeste

89°17'48" O. Quintana Roo cuenta con 1 176 km de litoral, que representan 10.6% del total nacional, por lo que es la cuarta entidad con mayor cantidad de costas (Inegi, 2016).

Creación de conciencia (*avoid*)

Las acciones para evitar el consumo de plásticos se enfocaron en un programa de servicio social en el que participaron estudiantes universitarios durante un mínimo de tres meses. Los jóvenes primero asistieron a una plática para aprender acerca del problema de la contaminación por plásticos en los océanos, y posteriormente registraron su consumo de plástico en el hogar por 30 días. Este registro fue por número de artículos y no por el peso, ya que no todos cuentan con básculas de precisión. Además, debían indicar el tipo de artículo, la marca a la que pertenecía, el comercio donde lo obtuvieron y –sobre todo– si al momento de la compra identificaron alguna opción o alternativa sin plástico y, en ese caso, si estarían dispuestos a cambiar su elección en la siguiente compra; adicionalmente, una vez utilizado dicho artículo, debían indicar de qué manera dispusieron de él. Los datos se registraron a diario en un formato de Excel, diseñado por Parley for the Oceans México.

Información local (*intercept*)

Durante las campañas de limpieza de 22 playas a lo largo del Caribe mexicano, en 2019, se recolectaron muestras que fueron organizadas por Parley for the Oceans México a partir de la metodología de Sarah Royer (2019) y con la participación de estudiantes voluntarios de la Universidad del Caribe (véase la Figura 1).



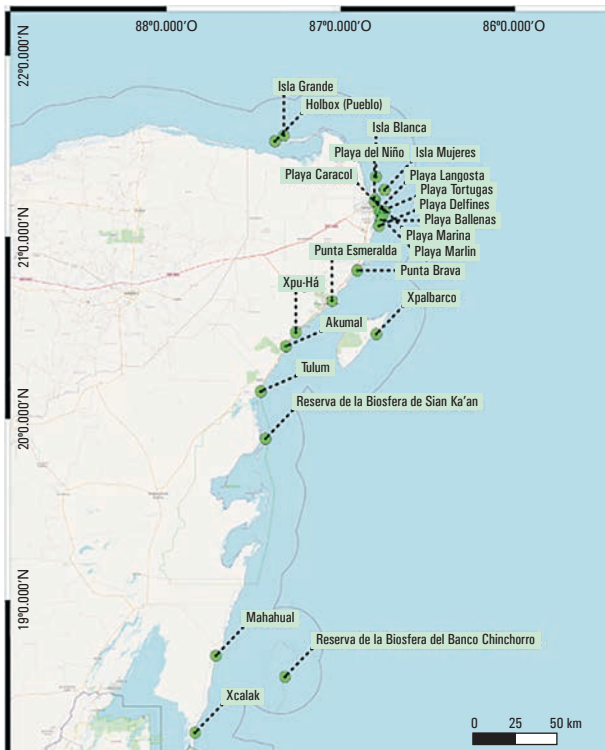


Figura 1. Localización de las playas donde se realizó la colecta de muestras. Elaborada en QGIS (v.3.10.0) por Adriana Hernández Pérez y Jimena Peraza Alvarado.

Se seleccionó el sitio de muestreo y en cada **transecto** se definieron cuadrantes, a una distancia de 3.5 m entre cada cuadrante. El primero de ellos es determinado por la marea más alta; el cuarto cuadrante se coloca en la duna costera. A continuación, se excavó a una profundidad de 10 cm en cada cuadrante; esto es importante por la dinámica costera, ya que de esta manera se cuantifican los residuos que no se ven, que han sido enterrados por la acción del agua y el viento.

Las muestras obtenidas son etiquetadas con las respectivas coordenadas y el nombre del transecto, además de la fecha, hora y número de cuadrante. Las muestras se resguardan en bolsas herméticas tipo Ziploc en un lugar cerrado. El proceso de caracterización y descripción de las muestras colectadas en cada transecto, para su posterior clasificación, inicia con la limpieza de las piezas. Adicionalmente, para su pesaje se utilizó una balanza digital Scout Pro SP401 con resolución de una décima de gramo. La información obtenida se registró en una base de datos en Excel, para posteriormente analizarla con el *software* R Studio (v. 3.5.1) y QGIS (v. 3.10.0).

Activación de los jóvenes para lograr un cambio de hábitos (redesign)

Con base en los resultados obtenidos del registro de plásticos usados en su hogar, los estudiantes diseñaron e implementaron medidas para evitar o reducir el consumo de este material, sobre todo el de un solo uso. Asimismo, se buscó aumentar su participación en los eventos del Reciclatón que el H. Ayuntamiento de Benito Juárez organiza. Otras actividades se enfocaron en mejorar el manejo de los residuos sólidos en los hogares en general. Así, cada estrategia desarrollada e implementada fue respetando el contexto social y económico de cada hogar.

Resultados

Desde 2018, Parley for the Oceans México ha impartido 67 pláticas acerca de la contaminación por plástico en el mar dirigidas a 2 692 personas, en su mayoría estudiantes universitarios. Nos dimos cuenta de que una sola plática puede generar un conocimiento nuevo, pero no necesariamente llega a cambiar un hábito o comportamiento; sin embargo, la conservación de la naturaleza está ligada al comportamiento humano (Rare y The Behavioral Insights Team, 2019), por lo que fue necesario trabajar más tiempo con los estudiantes para poder medir el impacto.

¿Qué registraron? (avoid)

Durante 2020, 101 estudiantes de la Universidad del Caribe en Cancún y sus familias (411 personas en total) documentaron un total de 27 440 artículos de plástico, de los cuales 79% era plástico desechable y sólo 21% fueron artículos de plástico durables, como licuadoras, controles remotos, audífonos, etc. Después de utilizarlos, mencionaron que 81.34% fue entregado al servicio de recolección municipal, 12.22% se reutilizó en casa y sólo 6.44% se entregó a algún acopiador para reciclar, aún cuando el H. Ayuntamiento de Benito Juárez implementa dos veces al mes el programa de Reciclatón. La respuesta generalizada de los estudiantes fue: “no tenía idea de la gran cantidad de plástico que consumo en mi hogar” (véase la Figura 2).

Transecto

Método de determinación de sitios para la toma de muestras en un estudio.

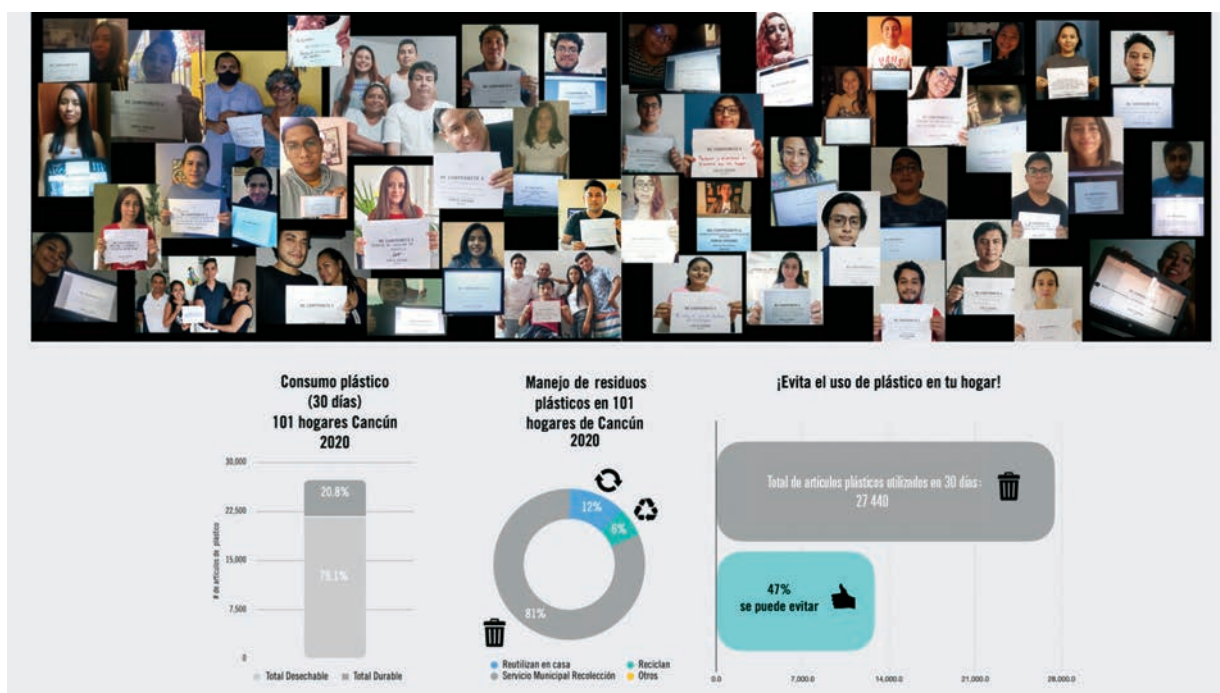


Figura 2. Consumo y manejo de residuos. Crédito: Judith Morales/Parley for the Oceans México.

El plástico presente en las playas (intercept)

Se analizaron 2 464 muestras recolectadas de 22 playas para determinar el número de piezas, tamaño y peso por metro cúbico en cada cuadrante del transecto de playa. La Figura 3 presenta los resultados obtenidos, considerando una profundidad de 10 cm (0.10 m). Se muestra que Xpu-Há es la playa donde se concentra el mayor número de plásticos, con un total de 5 215 piezas/m³; por otra parte, Playa Langosta es donde se encontró menor presencia de macroplástico (83 piezas/m³). Con relación al peso por metro cúbico del macroplástico presente en las playas, Punta Brava tiene el mayor registro (315.27 g/m³); en cambio, en Playa Delfines se encontraron piezas con un menor peso (9 g/m³). Esto quiere decir que la presencia de macroplástico en las playas estudiadas es evidente, pero las piezas en su gran mayoría son muy livianas (véanse las Figuras 3 y 4).

Se seleccionó el análisis de conglomerados como una técnica estadística multivariada que busca agrupar elementos y proporciona un método de clasificación de los cuadrantes con respecto a las variables. En la Figura 4 a) se observa que el grupo óptimo de **clústeres** es el 2. El primer grupo está dado por los cuadrantes 1 y 2, mientras que el segundo grupo lo

conforman el cuadrante 3 y el 4. Cabe resaltar que la similitud entre los cuadrantes 3 y 4 es mayor a la encontrada entre los cuadrantes 1 y 2. En la Figura 4 b) se observa una separación de grupos en direcciones opuestas, con relación a las medias de las variables: número de piezas, peso y tamaño; el cuadrante 1 es influenciado hacia la media del peso, mientras que el cuadrante 4 es influenciado por las medias del número de piezas y tamaño; esto se puede entender porque en dicho cuadrante se presenta una mayor cantidad de piezas que son de mayor tamaño.

Desde 2017, Parley for the Oceans México ha apoyado e implementado 143 campañas de limpieza en playas, cenotes y manglares del país; en ellas ha interceptado 51 215 kg de residuos sólidos, de los cuales 64.4% han sido plásticos. La participación de los estudiantes y la comunidad en general es muy importante para lograr estos eventos de limpieza, sobre todo porque la mayoría son en sitios remotos y en zonas importantes de anidación de tortugas marinas y aves. Los participantes toman conciencia de la gravedad y la escala del problema de la contaminación por plásticos en los ecosistemas marinos y sobre todo de lo difícil que es lograr interceptarlos en estas zonas (véase la Figura 5).

Clúster
Una forma de categorizar la información en grupos de elementos que tienen características iguales.

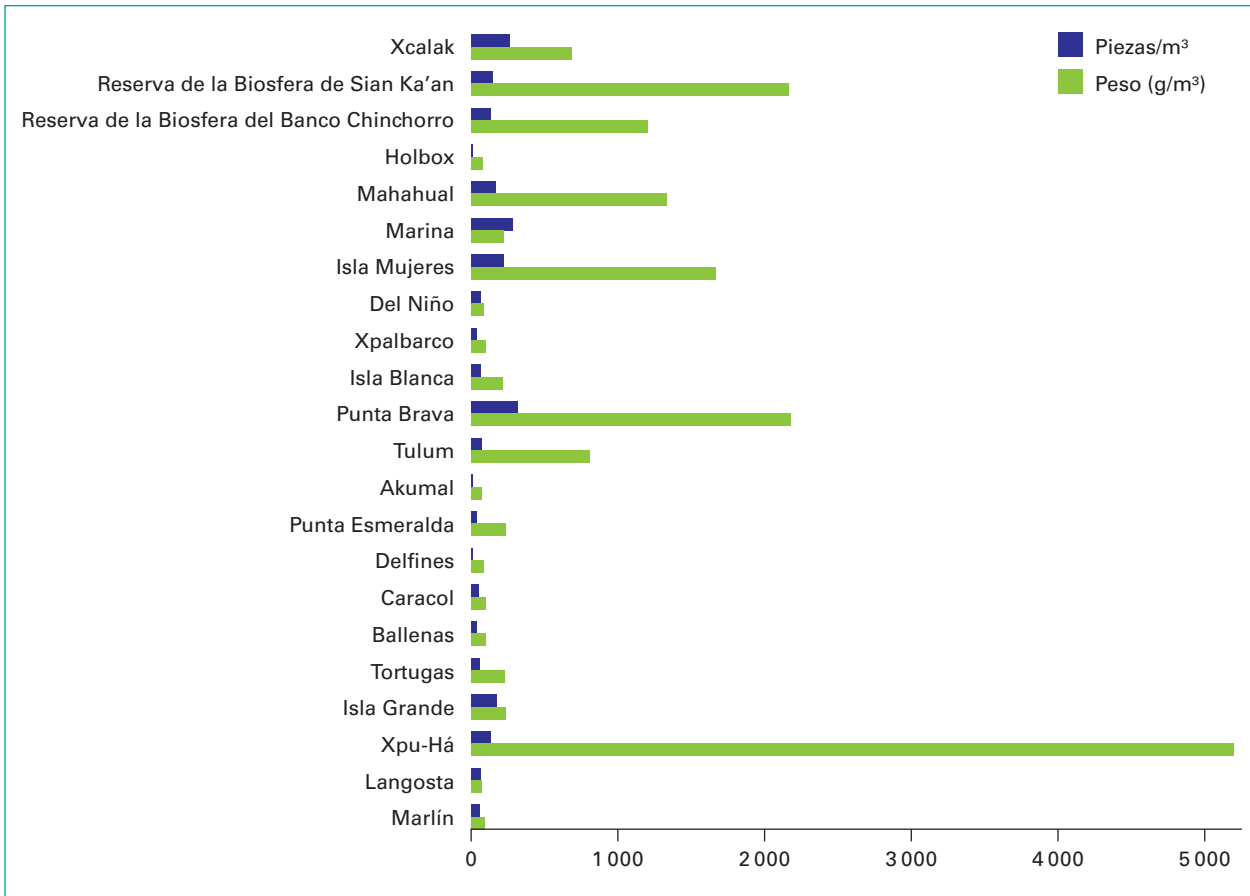


Figura 3. Piezas de macroplástico según el número y peso por metro cúbico de arena en las 22 playas estudiadas. Elaborada en RStudio (v.3.5.1) por Adriana Hernández Pérez y Jimena Peraza Alvarado.

¡La opción es evitarlo! (redesign)

Los estudiantes registraron 1 026 artículos de plástico para el hogar que podrían evitar, lo que representó 47% de los residuos plásticos de un solo uso

documentados en 30 días. Cabe considerar que todos los participantes reportaron una disminución de ingresos en su hogar por la situación sanitaria derivada de la pandemia de COVID-19 durante 2020, y con

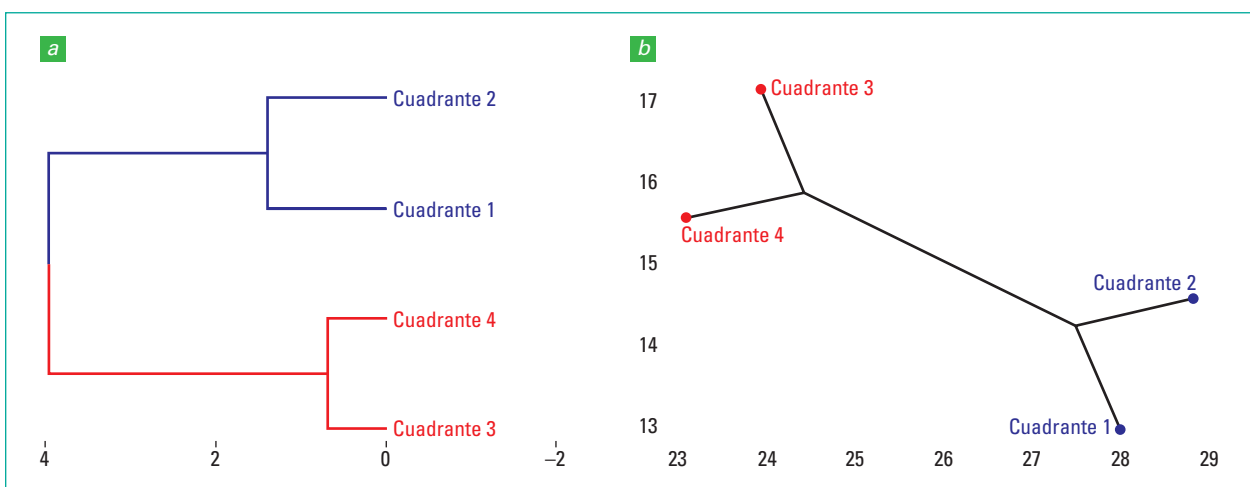


Figura 4. a) Clúster jerárquico; y b) dendrograma de las medias del número de piezas, peso y tamaño de las muestras por cuadrante. Elaborada en RStudio (v.3.5.1) por Adriana Hernández Pérez y Jimena Peraza Alvarado.

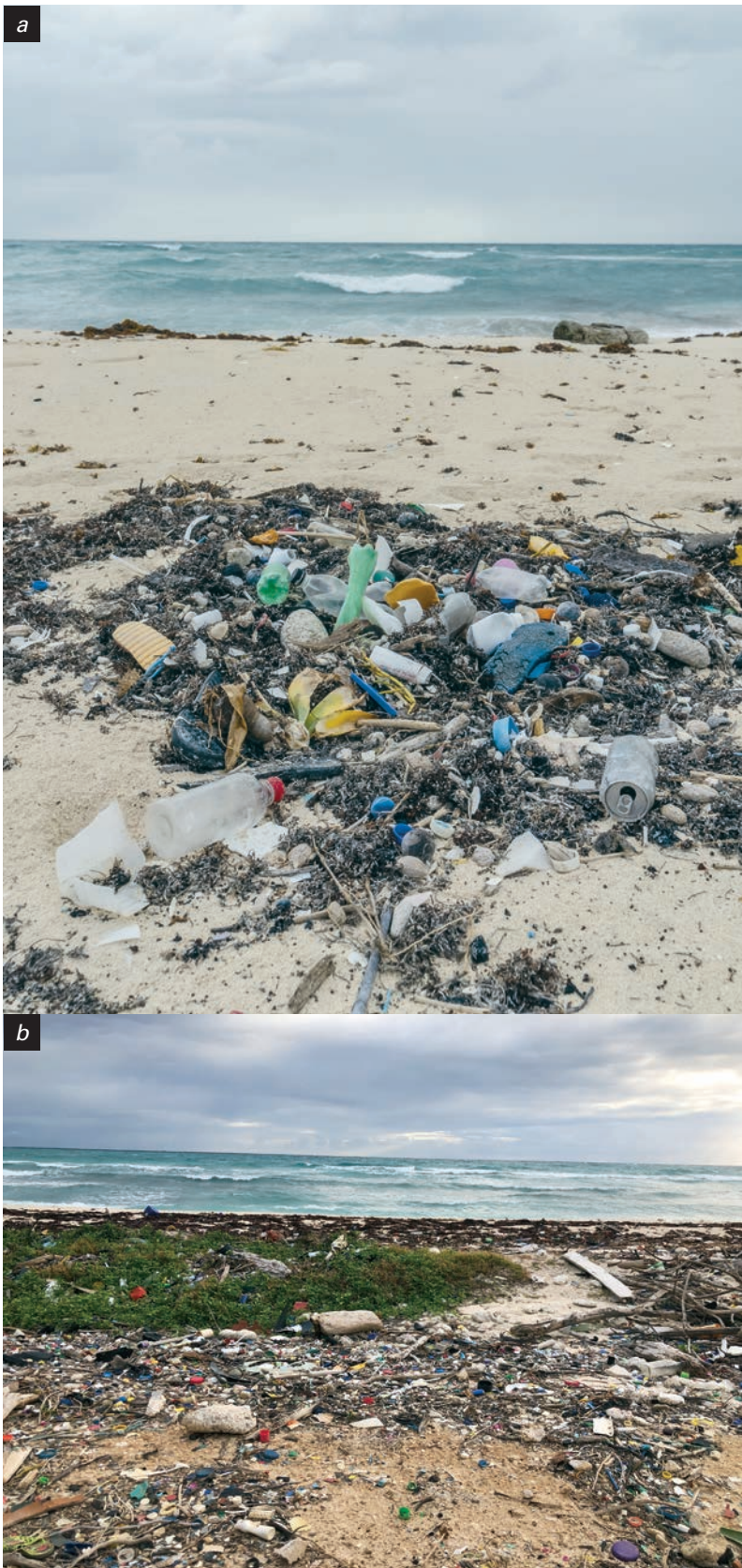


Figura 5. Imágenes de la presencia de plásticos en las playas durante 2020: a) Parque Nacional Isla Contoy; b) Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. Fuente: Parley for the Oceans México.

ello una reducción en la adquisición de productos en general. Las principales alternativas disponibles en Cancún que se reportaron e implementaron para evitar el plástico fueron:

- Tener una botella reutilizable para el agua y contenedores lavables para comprar alimentos preparados
- Cargar una bolsa de tela en todo momento
- Sustituir los productos de plástico por otros materiales, como metal, vidrio, madera o bambú, principalmente en utensilios de cocina y de aseo personal
- Reemplazar los productos de belleza en los que el plástico está presente, como exfoliantes, por productos hechos en casa con ingredientes sin plástico
- Comprar en tiendas a granel recipientes para alimentos, productos de limpieza del hogar y alimentos para mascotas
- Elaborar los adornos navideños reutilizando materiales de plástico para no comprar nuevos
- Evitar comprar ropa de poliéster o fibras sintéticas
- Seleccionar productos en el supermercado que no tienen empaque o que vienen empacados en papel o cartón
- Al no tener opción de productos sin plástico, solamente consumir los que están envasados en plástico tipo 1 y 2, que son los que se pueden entregar en los eventos de Reciclatón en Cancún

Estas opciones están condicionadas, primero, a saber identificarlas y tenerlas disponibles; pero además, tener la voluntad de hacer un cambio de hábitos a largo plazo y, en algunos casos, asumir el ligero incremento de costos que involucra este cambio en un inicio, sobre todo cuando se trata de invertir en nuevos materiales.

Conclusiones

La estrategia implementada nos invita a reflexionar en nuestras formas de consumo y las posibles soluciones para terminar con el problema de la contaminación por plásticos en los océanos y ecosiste-

mas costeros. Si bien la solución depende de grandes cambios en la industria privada y el fortalecimiento de los programas implementados por los gobiernos locales, también recae en el poder y la responsabilidad que tenemos las personas como consumidoras para evitar los plásticos, sobre todo los de un solo uso. Asimismo, en los lugares donde no contamos con infraestructura o sistemas de manejo adecuados para asegurar su reciclaje, debemos responsabilizarnos y disminuir nuestra producción personal de residuos desde el origen, que es en nuestros hogares. En otras palabras, es necesario modificar la percepción social acerca del problema y promover la participación ciudadana para llegar a su solución.

Los resultados obtenidos muestran que existe una distribución heterogénea de los residuos plásticos en las playas del Caribe mexicano. Se encontró que la cantidad de piezas y el peso no tienen una relación directa, dado que podemos encontrar playas con muchos plásticos, pero que son muy livianos. Por ende, las costas requieren de una atención diferenciada por parte de las autoridades municipales, y se resalta la importancia de utilizar una buena metodología para determinar la presencia de plástico en cada sitio.

Agradecimientos

Agradecemos a las estudiantes Adriana Hernández Pérez y Jimena Peraza Alvarado, del Programa Educativo de Ingeniería Ambiental, así como a los 101 participantes del programa de servicio social con Parley for the Oceans México. Reconocemos al departamento de Servicio Social de la Universidad del Caribe por haber hecho posible la implementación de este proyecto, así como a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Región Península de Yucatán y Caribe Mexicano, y a sus diferentes Áreas Marinas Protegidas de Quintana Roo, por su apoyo para la implementación de las campañas de limpieza de playas y muestreo de plásticos en islas y sitios remotos.

Laura M. Hernández Terrones

Universidad del Caribe.

lmhernandez@ucaribe.edu.mx

Judith Morales López

Parley for the Oceans México.

judith@parley.tv

Jairo A. Ayala Godoy

Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras.

jairoarturo.ayala@upr.edu

Referencias específicas

Álvarez Zeferino, J. C., S. Ojeda Benítez, A. A. Cruz-Salas, C. Martínez Salvador y A. Vázquez Morillas (2020), "Microplastics in Mexican beaches", *Resources, Conservation and Recycling*, 155:104633.

Andrady, A. (2011), "Microplastics in the marine environment", *Marine Pollution Bulletin*, 62:1596-1605.

Halden, R. U. (2010), "Plastics and health risks", *Annual Review of Public Health*, 31:179-194.

Rare y The Behavioral Insights Team (2019), *Cambio de comportamiento para la naturaleza: una caja de herramientas de las ciencias del comportamiento para agentes de cambio*, Arlington, Rare.

Rochman, C. M., E. Hoh, T. Kurobe y S. J. Teh (2013), "Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress", *Scientific Reports*, 3:3263.

Rojo, E. y A. Montoto (2017), "Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global", *Ecologistas en Acción*. Disponible en: <<https://spip.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/informe-basuras-marinas.pdf>>, consultado el 13 de agosto de 2020.

Royer, S. (2019), *Method: Plastic Accumulation Study*, Hawái, James Campbell National Wildlife Refuge.

El impacto de microplásticos en organismos marinos

Diversos factores promueven la fragmentación de los plásticos a microplásticos, como el oleaje, la luz ultravioleta y el viento, entre otros. Debido al pequeño tamaño de los microplásticos (menor a 5 mm) aumenta la posibilidad de que sean consumidos por organismos marinos o que se puedan adherir contaminantes que están en el ambiente a estas partículas, lo que incrementa el impacto ecológico.

Microplásticos en el ambiente

La producción global de los plásticos ha crecido de manera significativa en las últimas décadas, de 1.7 millones de toneladas en 1950 (Auta y cols., 2017) a 348 millones de toneladas en 2017 (Plastics Europe, 2018). Desafortunadamente, su amplio uso en la vida diaria no ha ido acompañado de un buen manejo para su disposición, por lo que se estima que el plástico representa cerca de 54% de los desechos antropogénicos en el ambiente.

La combinación de diferentes factores ambientales, como la luz solar y la temperatura, influye en la desintegración de los plásticos a microplásticos según las propiedades de los polímeros (Auta y cols., 2017). La causa predominante de la degradación de los plásticos en el ambiente es la exposición a la radiación ultravioleta (UV), la cual facilita la **degradación oxidativa**. Durante este proceso, los plásticos se decoloran y se vuelven débiles y frágiles, por lo que cualquier fuerza mecánica (viento, olas, actividad humana y mordeduras de animales) puede romperlos en pequeños fragmentos. Esto aumenta el área de superficie cubierta y el número de partículas presentes.

No obstante, a pesar de su fragmentación, los plásticos no pueden ser completamente asimilados por los microorganismos y se quedan permanentemente en la naturaleza. Como consecuencia, los plásticos y microplásticos están presentes en los ecosistemas terrestres, acuáticos, estuarios, costeros y marinos, así como en zonas urbanizadas, e incluso se han encontrado en sedimentos del fondo marino y encapsulados en el hielo marino del Ártico.

Degradación oxidativa

Desintegración de macromoléculas por acción del oxígeno sobre el sustrato. ▶



Los microplásticos son partículas de plástico con un amplio rango de tamaño, forma, densidad y composición química. A pesar de que no existe un criterio claro de su rango de tamaño, se han definido como partículas menores de 5 mm (Auta y cols., 2017; Auta y cols., 2018). También pueden clasificarse según su origen como primarios o secundarios.

Biondicadores:

Organismos que ayudan a detectar alteraciones en los ecosistemas, como la explotación excesiva, la contaminación o el cambio climático.

Los microplásticos primarios son aquellos que fueron manufacturados para propósitos domésticos e industriales, tales como formulaciones cosméticas, *pellets* para la industria del plástico, limpiadores faciales, pasta de dientes, exfoliantes, esmaltes de uñas, productos para bebés, colorantes para el cabello, cremas de protección solar, desodorantes, geles de baño y repelentes para insectos; incluso se utilizan como vectores de liberación de fármacos. Por otro lado, los microplásticos secundarios son resultado de la fragmentación de piezas de plástico de mayor tamaño mediante procesos mecánicos, físicos y químicos (Auta y cols., 2017; GESAMP, 2015).

Microplásticos y organismos marinos

En vista del reducido tamaño de los microplásticos, pueden encontrarse disponibles para el consumo de la mayoría de los organismos marinos, lo cual ocasiona diversos efectos adversos en los ecosistemas.

Translocar

Movimiento de compuestos entre tejidos u órganos.

Los microplásticos están al alcance de una amplia variedad de organismos marinos pertenecientes a diferentes niveles de la cadena trófica, incluidos los consumidores de detritos, equinodermos, zooplankton, fitoplancton, moluscos, crustáceos, tortugas, mamíferos, peces, aves marinas, entre otros (GESAMP, 2016; Guzzetti y cols., 2018).

Existe una amplia variedad de mecanismos mediante los cuales un organismo puede tomar los microplásticos del ambiente. Por ejemplo, pueden ser adheridos o absorbidos directamente al cuerpo y por medio de la ventilación; en este proceso llegan a acumularse en el organismo, lo cual se conoce como bioacumulación. Asimismo, las especies pueden ingerirlos de forma directa del ambiente marino (como alimento, mientras capturan a sus presas y las confunden con microplásticos), o bien los pueden consumir de manera indirecta al participar en

la cadena trófica (al comerse a otros organismos que contienen microplásticos), lo cual se conoce como biomagnificación.

En 2009 el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente implementó un método de monitoreo para detectar la presencia y contaminación por microplásticos en organismos marinos. Para ello, se utilizaron como **bioindicadores** ejemplares de *Fulmarus glacialis*, aves conocidas como fulmares boreales (Avery-Gomm y cols., 2012), así como mejillones de las especies *Mytilus galloprovincialis*, *Choromytilus meridionalis* y *Aulacomya ater* (Sparks, 2020). Los resultados indicaron que hay un incremento en la ingestión de plástico en los últimos 40 años, lo que sugiere altos niveles de contaminación plástica.

El riesgo por el consumo de microplásticos depende del número y el tipo de partículas, el tiempo de exposición, la concentración y el tipo de contaminantes asociados a los microplásticos, así como la fisiología y la historia de vida del organismo (GESAMP, 2016). La ingesta de microplásticos puede tener efectos tóxicos, como una disminución en la reserva de energía, cambios en el comportamiento alimenticio, estrés fisiológico, reducción de la fertilidad y fecundidad, disminución en la tasa de la supervivencia de la progenie, estrés hepático y alteración en su movimiento y su crecimiento. Además, los microplásticos pueden atravesar la membrana celular y **translocar** entre tejidos, lo que provoca toxicidad por partículas y genera una respuesta inmune asociada a inflamación y daño celular. Por último, los microplásticos ingeridos pueden ser eliminados por excreción de heces (GESAMP, 2016; Guzzetti y cols., 2018).

Microplásticos asociados con sustancias contaminantes

Durante el proceso de manufacturación, los plásticos pueden ser mezclados con diferentes aditivos para mejorar los requerimientos del producto final, tales como sustancias antimicrobianas, lubricantes, emolientes, retardantes de llama, pigmentos, plastificantes y estabilizadores de calor (Guzzetti y cols., 2018). Los aditivos más comúnmente utilizados son: ftalatos, bisfenol A, éteres de difenilo polibromados

y nonilfenoles, los cuales tienen la capacidad de actuar como **disruptores endocrinos**.

Adicionalmente, contaminantes como pesticidas, herbicidas, hidrocarburos y metales pesados (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) se adhieren en los microplásticos y, consecuentemente, tienen efectos nocivos para los organismos marinos. Cabe considerar que los microplásticos, en combinación con otros contaminantes tóxicos, pueden ser transferidos por medio de la cadena trófica y llegar a estar presentes en múltiples productos de interés comercial, lo cual implica un riesgo potencial para la salud humana (Guzzetti y cols., 2018).

Conclusión

La presencia de contaminantes tóxicos asociados a los microplásticos representa un gran problema, sobre todo debido al proceso de biomagnificación. Como se puede observar, la irresponsabilidad por parte de la especie humana ha traído una serie de consecuencias irreversibles, por lo que se puede esperar que cualquier tipo de producto de interés comercial contenga microplásticos y otros contaminantes tóxicos.

Andrea Zambrano

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

andrea.zambranoarz@gmail.com

Referencias específicas

- Auta, H. S., C. U. Emenike y S. H. Fauziah (2017), "Distribution and importance of microplastics in the marine environment. A review of the sources, fate, effects, and potential solutions", *Environment International*, 102:165-176. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013>>, consultado el 2 de febrero de 2022.
- Auta, H. S., C. U. Emenike, B. Jayanthi y S. H. Fauziah (2018), "Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by *Bacillus* sp. and *Rhodococcus* sp. isolated from mangrove sediment", *Marine Pollution Bulletin*, 127:15-21. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.036>>, consultado el 2 de febrero de 2022.
- Avery-Gomm, S., P. D. O'Hara, L. Kleine, V. Bowes, L. K. Wilson y K. L. Barry (2012), "Northern fulmars as biological monitors of trends of plastic pollution in the eastern North Pacific", *Marine Pollution Bulletin*, 64(9):1776-1781. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.04.017>>, consultado el 2 de febrero de 2022.
- GESAMP (2015), "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment", *Reports and Studies GESAMP*, 90:96. Disponible en: <<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3803.7925>>, consultado el 2 de febrero de 2022.
- GESAMP (2016), "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part 2 of a global assessment", *Reports and Studies GESAMP*, 93:96.
- Guzzetti, E., A. Sureda, S. Tejada y C. Faggio (2018), "Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects", *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 64:164-171. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.10.009>>, consultado el 2 de febrero de 2022.
- Sparks, C. (2020), "Microplastics in mussels along the coast of Cape Town, South Africa", *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 104(4):423-431. Disponible en: <<https://doi.org/10.1007/s00128-020-02809-w>>, consultado el 2 de febrero de 2022.

Disruptores endocrinos

Sustancias exógenas que interfieren con la síntesis hormonal, metabolismo o acción.



Vanessa Labrada Martagón y Tania Zenteno Savín

Biomarcadores a microplásticos en fauna marina

Se revisan los efectos conocidos que el plástico ocasiona sobre la salud de la biota marina. El estudio y monitoreo de biomarcadores ambientales como respuestas de protección de las células ante la exposición a contaminantes permite comprender el daño generado, como estrés oxidativo, respuestas proinflamatorias, regulación inmune, genotoxicidad, neurotoxicidad, disrupción endocrina y patologías hepáticas.

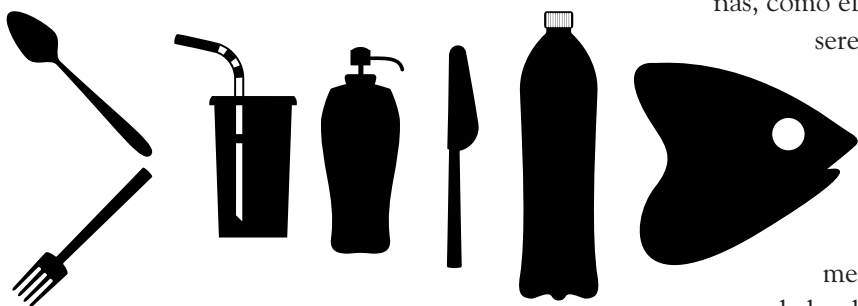
Introducción

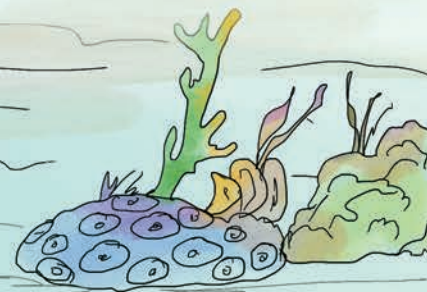
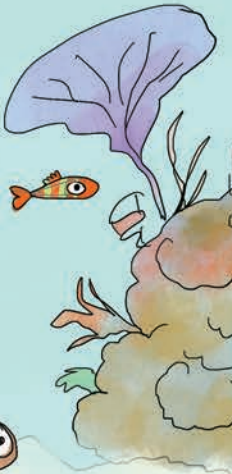
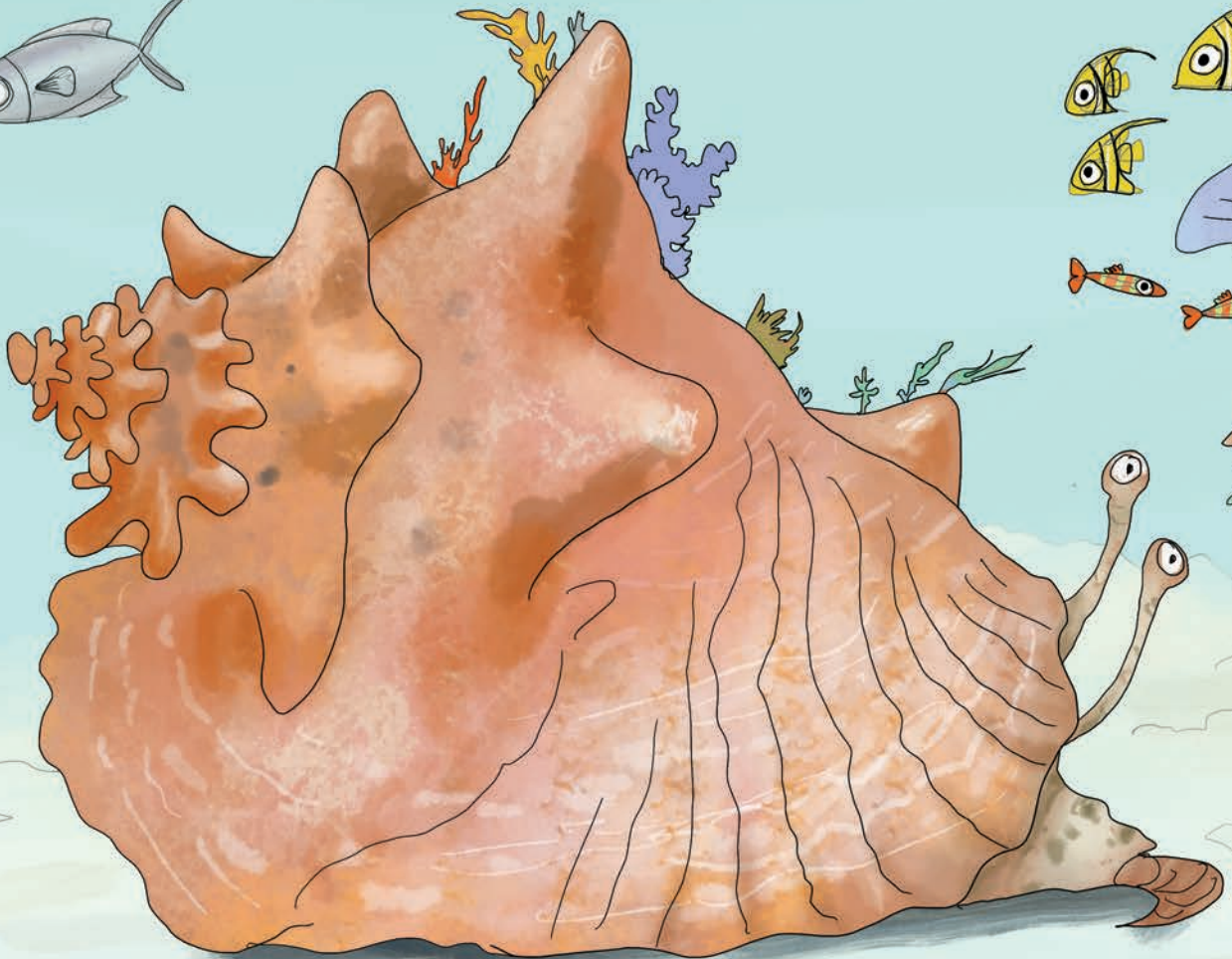
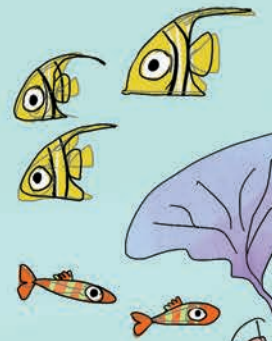
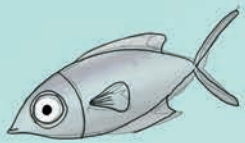
En la actualidad, la comunidad científica reconoce la relevancia y la prioridad que tiene mantener la salud desde un enfoque ecosistémico; sin embargo, no fue hasta la aparición de la enfermedad emergente COVID-19 que esta idea fue popularizada. El concepto de *salud ecosistémica* comprende que las consecuencias del incremento en la perturbación ambiental —la pérdida del hábitat, el cambio de uso del suelo, el aumento de contaminantes, entre otros— pueden extenderse a las poblaciones naturales y, en última instancia, a los ecosistemas. La población humana forma parte de dichos ecosistemas, por lo que las perso-

nas, como el resto de las poblaciones naturales, seremos, o ya somos, receptoras de los daños ambientales.

Los organismos de vida libre expuestos a ambientes perturbados (factores abióticos de estrés) pueden presentar daños metabólicos o una mayor susceptibilidad a desarrollar enfermedades. Si las po-

blaciones expuestas no son capaces de hacer frente a las necesidades básicas (por ejemplo, refugio y alimento) en su medio natural, disminuirá su tasa de crecimiento, de supervivencia o de reproducción y, por ende, su abundancia y viabilidad. La consecuencia final incluye transformaciones en el ecosistema tales como la pérdida de biodiversidad, cambios en las relaciones entre





patógenos y sus hospederos, así como la aparición de enfermedades emergentes en la fauna silvestre, doméstica y en la población humana.

Mecanismos de defensa

Todos los organismos se encuentran expuestos, a lo largo de su vida, a factores estresantes naturales, tales como la luz ultravioleta (UV), metales pesados y florecimientos algales, así como a factores de origen humano, como los contaminantes orgánicos persistentes (COP), hidrocarburos, fármacos, basura plástica y microplásticos (partículas plásticas < 5 mm). En el transcurso de su evolución, la fauna y la flora han desarrollado una serie de mecanismos y sistemas complejos de protección ante las fluctuaciones ambientales y los agentes exógenos, como los mencionados anteriormente.

La piel, por ejemplo, es la primera línea de protección ante los agentes infecciosos. Así, los animales tenemos la capacidad de minimizar o reparar el daño mediante estos sistemas de defensa. Las estrategias pueden partir desde cambios en el comportamiento (por ejemplo, la locomoción a zonas más aptas) hasta cambios bioquímicos, enzimáticos o metabólicos (Fanjul, 2008). Estas adaptaciones se presentan tanto en protistas (arqueas, bacterias, protozoarios) como en invertebrados y vertebrados mayores, en todos con distinto grado de complejidad. Algunas especies tienen la capacidad de igualar su constitución interna a la del ambiente; otras generan corazas que las protegen físicamente de su ambiente o las mantienen aisladas de los cambios externos; mientras que unas más tienen adaptaciones que les permiten regular su **metabolismo** (como los metazoos).

Esa capacidad en las especies de mantener un equilibrio dinámico interno, controlado por mecanismos de regulación independientes, ante las diferentes perturbaciones ambientales, se conoce como homeostasis. Las modificaciones fisiológicas que adoptan los animales en respuesta a las alteraciones de su ambiente les permiten conservar sus sistemas en un estado constante y estable. Es así como mantienen la estabilidad interna y sobreviven ante las nuevas condiciones ambientales (Fanjul, 2008).



El ejemplo más claro de esto es el metabolismo de los xenobióticos, compuestos exógenos que ingresan a los organismos ya sea por contacto directo, inhalación o ingestión (Gupta, 2007). Los efectos de los xenobióticos como el mercurio, plomo, insecticidas, herbicidas, hidrocarburos, fármacos y compuestos plastificantes como los ftalatos, entre otros, se reflejan en distintos niveles de organización biológica (Stegeman y cols., 1992). Las respuestas bioquímicas son la primera línea de defensa en las células ante la exposición a sustancias tóxicas, así permiten eliminar a la toxina o defender a la célula contra los efectos adversos. Al conjunto de estas respuestas se le conoce como mecanismo de **detoxificación**. Durante este proceso ocurre la activación de compuestos inicialmente inertes y su transformación a metabolitos intermediarios más reactivos que, de no ser contrarrestados, pueden generar un daño a los constituyentes celulares (como proteínas, lípidos o ADN) (Rodríguez, 2004). Los productos bioquímicos que se generan en el proceso de protección y reparación pueden tener consecuencias adversas e iniciar, de manera eventual, respuestas fisiológicas en los organismos. A largo plazo, el daño celular acumulado puede favorecer o contribuir al desarrollo de múltiples enfermedades, como el cáncer (Klaunig y Kamendulis, 2004).

Biomarcadores

La estrecha relación que existe entre las respuestas a nivel molecular y la presencia de xenobióticos ambientales ha aumentado paulatinamente el interés por estudiar la utilidad de dichas respuestas como marcadores de la exposición a contaminantes y los

Detoxificación

Respuestas celulares que permiten al organismo eliminar la toxina o defender a la célula contra sus efectos adversos.

Metabolismo

Todos los procesos físicos y químicos que ocurren en las células para convertir o usar energía.

efectos que pudieran estar presentando los organismos. De esta manera, un biomarcador se define como cualquier respuesta (molecular, celular, metabólica, morfológica) cuantificable que permite determinar que un organismo ha sido expuesto a un compuesto tóxico, o bien que permite cuantificar el daño generado por dicho contaminante. El biomarcador, entonces, será el indicador que podemos cuantificar y que relaciona el grado de disfunción que el contaminante produce en un organismo.

Los biomarcadores tienen distintos niveles de clasificación según la velocidad y el tipo de respuestas evaluadas. Pueden ser de índole bioquímico (concentración de macromoléculas), fisiológico (función de macromoléculas), histológico (conformación de tejidos) e incluso morfológicos (condición corporal). Los biomarcadores bioquímicos y fisiológicos tienen la ventaja de ser los más sensibles y de constituir la primera línea de respuesta detectable ante una alteración ambiental. Éstos reflejan únicamente el efecto del contaminante biológicamente disponible apuntando hacia posibles efectos negativos sobre un órgano o individuo. A su vez, el estudio de la combinación de varios tipos de marcadores biológicos permite generar una mejor interpretación de la respuesta metabólica ante las alteraciones ambientales, y así obtener una evaluación rápida del estado de salud de los organismos antes de llegar a observar efectos a nivel poblacional y ecológico.

Contaminantes plásticos

■ El conocimiento sobre los efectos del plástico es mayor en el ambiente acuático-marino que en el terrestre. De los artículos científicos publicados con resultados sobre la presencia o los efectos de los microplásticos, 83% se han realizado en organismos acuáticos (Wong y cols., 2020). En la actualidad, los estudios enfocados en determinar la presencia de plástico o microplástico en el ambiente marino demuestran que estos residuos han permeado en el ecosistema y en toda la red trófica sin ninguna distinción de filo (algas, invertebrados, peces, aves, mamíferos y reptiles), cuenca oceánica o hábitat (costero, oceánico, bentónico o pelágico).

Por ejemplo, un estudio de laboratorio mostró la adhesión de macropartículas plásticas en la superficie del cuerpo y apéndices externos de los **copépodos** marinos (*Tigriopus japonicus*) expuestos a diferentes concentraciones de poliestireno (Li y cols., 2020). Las algas también tienen la capacidad de absorber micro (< 5 mm) o nano (0.1 µm) plásticos por atracción electrostática (revisado por Wong y cols., 2020). Se puede inferir, entonces, que desde la base de la cadena trófica (productores primarios), los microplásticos quedan biodisponibles en el ambiente y pueden ser ingeridos —como se ha demostrado en múltiples estudios— por depredadores como invertebrados, peces, tiburones, tortugas y mamíferos marinos.

Los biomarcadores más utilizados para evaluar las respuestas de los organismos marinos ante la exposición al plástico y sus derivados son los bioquímicos de respuesta temprana, específicamente los indicadores de estrés oxidativo. Se ha demostrado en estudios de laboratorio que la exposición a microplásticos genera respuestas de estrés oxidativo en copépodos (*T. japonicus*), mejillones del Mediterráneo (*Mytilus galloprovincialis*), lenguados (*Paralichthys olivaceus*) y cultivos de células de riñón del salmón del Atlántico (*Salmo salar*). Se ha reportado un incremento en los niveles de producción de especies reactivas de oxígeno dentro de las células, en la actividad de las enzimas antioxidantes y en los daños a macromoléculas (como los lípidos en el hígado y el riñón), así como modificaciones en la expresión de genes relacionados con las defensas antioxidantes (Kang y cols., 2010; Yazdani y cols., 2016; Pittura y cols., 2018; Choi y cols., 2020). Dichas alteraciones relacionadas con las partículas de microplástico, y las sustancias químicas asociadas, son reconocidas en seres humanos, en animales de laboratorio —como ratas y ratones (Brassea y cols., 2022)— y en organismos acuáticos, como la pulga de agua (*Daphnia magna*), el pez zebra (*Danio rerio*) y la tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Pérez-Albaladejo y cols., 2020). Sin embargo, hace falta un mayor número de estudios con organismos en su medio natural.

En una investigación realizada con peces múlidos obtenidos mediante la pesca comercial en España, se reportó la ingesta de microplásticos en una tercera

Copépodos
Crustáceos de 0.2 a 17 mm longitud que pueden formar parte del zooplankton.

parte de la muestra, sin un evidente daño oxidativo o a nivel celular en el hígado. En ese estudio se reportó únicamente un pequeño incremento en la actividad de la enzima antioxidante glutatión S-transferasa (GST), lo que sugiere una inducción del sistema antioxidante en estos peces (Alomar y cols., 2017). De esta manera, la determinación de alteraciones en poblaciones de vida libre es de suma importancia, ya que el estrés oxidativo produce la oxidación de macromoléculas como lípidos, proteínas y el ADN, con potenciales consecuencias estructurales y funcionales en los tejidos. El estrés oxidativo también está relacionado con estados de inflamación, enfermedades degenerativas, envejecimiento, el desarrollo de neoplasias y cáncer.

Otros biomarcadores incluidos en las evaluaciones de los efectos de contaminantes como los microplásticos son aquellos de la respuesta inmune y de estrés celular. En mejillones se han descrito alteraciones tanto en la transcripción de genes de respuesta inmune y de proteínas de choque térmico (marcador de estrés celular) como en la capacidad **fagocítica** de las células que componen el sistema inmune, el aumento en la proporción de granulocitos y la pérdida de la estabilidad de la membrana en hemocitos (células fagocíticas de los invertebrados) (Browne y cols., 2008; Pittura y cols., 2018). También se observaron cambios en la expresión de diversos genes involucrados en la respuesta inmune de las células del salmón del Atlántico expuestas al polímero plástico bisfenol A (Yazdani y cols., 2016). Dichos estudios demuestran que los organismos pueden presentar respuestas proinflamatorias y de modulación de la inmunidad innata ante la ingesta o exposición a los plásticos en el ambiente.

Pocos autores han evaluado el daño al ADN y las respuestas neurotóxicas ante la exposición al plástico. En los mejillones del Mediterráneo se reportó un aumento significativo de células con micronúcleos después de ser expuestos al polímero plástico polietileno, lo cual sugiere un daño genotóxico en el huso mitótico o la ruptura de cromosomas durante la mitosis celular. Tanto los mejillones como el pez gobio común (*Pomatoschistus microps*) presentaron alteraciones en la actividad de la enzima acetilcolinestrasa (AChE)

dependientes del tiempo de exposición a micropartículas de polietileno, lo cual denota efectos neurotóxicos en estos animales (Luís y cols., 2015; Pittura y cols., 2018). En el mismo estudio, se reportó una reducción del comportamiento predatorio del pez gobio tras la exposición al plástico (Luís y cols., 2015).

Los polímeros plásticos, como polietileno y poliestireno, así como los compuestos químicos asociados a éstos, como los ftalatos y el bisfenol, tienen la capacidad de alterar la función del sistema endocrino. Se han observado alteraciones en la expresión de genes que codifican para proteínas como la vitelogenina (necesaria para la formación del huevo) o receptores de hormonas (por ejemplo, en el pez japonés medaka, *Oryzias latipes*) (Rochman y cols., 2014); asimismo, se reportó una reducción en el número y tamaño de los oocitos (células precursoras del óvulo), un menor tamaño embrionario, así como un decremento en la velocidad espermática y en el crecimiento de larvas de ostiones (*Crassostrea gigas*) expuestas a poliestireno en condiciones controladas (Sussarellu y cols., 2016). Las alteraciones en el desarrollo temprano de los organismos y en la función reproductiva de los adultos ponen en riesgo el éxito reproductivo de las poblaciones silvestres.

Entre los parámetros clínicos incluidos como marcadores de exposición a contaminantes se han evaluado cambios en enzimas como la fosfatasa alcalina (ALP), lactato deshidrogenasa (LDH), aspartato transaminasa (AST) y alanina transaminasa (ALT), todas ellas como marcadores de desórdenes hepá-

Fagocítico
Células presentes en la sangre y otros tejidos animales, capaces de captar microorganismos y restos celulares.



uticos. En un estudio de laboratorio con el lenguado (*Paralichthys olivaceus*) expuesto al dietilftalato (DEP, en concentraciones entre 300 y 900 µg/g), se observó un aumento en la actividad de las enzimas mencionadas (Kang y cols., 2010). Tras dos meses de exposición a una mezcla de polietileno y contaminantes químicos, como hidrocarburos (PAH) y bifenilos policlorinados (PCB), en el pez japonés medaka se observaron daños **subletales** en el hígado, incluida la reducción de glucógeno, vacuolización de grasas, hepatocitos neoplásicos, necrosis y formación temprana de tumores (Rochman y cols., 2014).

Los estudios que evalúan los efectos por la ingesta de microplásticos en los parámetros de vida de los organismos, tales como la supervivencia, fecundidad y desarrollo, son escasos debido a la complejidad para llevarlos a cabo. Los efectos reportados hasta ahora se han obtenido mediante estudios en laboratorio con organismos de fácil manejo y que tienen ciclos de vida cortos. En copépodos de agua salada (*T. japonicus*) se demostró que una mayor concentración y tamaño de la partícula del microplástico se relaciona con las tasas de supervivencia y fecundidad, la proporción entre sexos, así como los efectos negativos en la alimentación y excreción (Lee y cols., 2013; Yu y cols., 2020). El incremento en la mortalidad, como resultado de la ingesta del microplástico, se observa incluso en la siguiente generación de copépodos (Lee y cols., 2013).

■ **Conclusión**

■ Las consecuencias subletales en los organismos tras la ingesta y exposición a los microplásticos y sustancias tóxicas asociadas a éstos son variadas. Las respuestas tempranas observadas a nivel bioquímico incluyen la producción de especies reactivas, el aumento en los indicadores de estrés oxidativo, alteraciones en la transcripción y expresión de genes, daño al ADN, alteraciones fisiológicas por disrupción endocrina e, incluso, afectaciones a los parámetros poblacionales, tales como la probabilidad de supervivencia, tasas de fecundidad y desarrollo.

Aún falta mucho trabajo de investigación sobre el tipo y la frecuencia de los residuos plásticos que

ingiere la fauna en sus hábitats naturales para entender si los efectos estudiados en el laboratorio son también observados en los organismos de vida libre, así como para comprender los potenciales efectos sinérgicos de la variedad de plásticos disponibles en el ambiente. La continua ingesta y acumulación de microplásticos biodisponibles en el ambiente marino puede resultar en efectos crónicos a largo plazo. La poca capacidad de los organismos para hacer frente a sus necesidades nutrimentales y de comportamiento favorecerá la reducción de su éxito reproductivo y supervivencia, con afectaciones serias a la biodiversidad, los ecosistemas y, en consecuencia, a la salud pública (Guzzetti y cols., 2018).

Vanessa Labrada Martagón

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
vanessa.labrada@uaslp.mx

Tania Zenteno Savín

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.
tzenteno04@cibnor.mx

Subletales

Cambios fisiológicos o de comportamiento que debilitan el estado físico sin ocasionar la muerte inmediata del organismo.

Referencias específicas

- Fanjul, M. L. (2008), "Homeostasis y adaptación", en: M. L. Fanjul y M. Hiriart (eds.), *Biología funcional de los animales*, vol. I, 2.^a ed., México, Siglo XXI, pp. 15-26.
- Labrada Martagón, V. (2018), "Biomarcadores y salud ecológica", *Recursos Naturales y Sociedad*, 4(2): 9-20. Disponible en: <http://doi.org/10.18846/renaysoc.2018.04.04.02.0001>, consultado el 11 de febrero de 2022.
- Rodríguez, R. (2004), *Metabolismo de las toxinas ambientales*, México, FCE.
- Vázquez Gómez, A. G. y V. Labrada Martagón (2021), "Más allá de los popotes: efectos de la contaminación plástica en las tortugas marinas", *Recursos Naturales y Sociedad*, 7:17-40. Disponible en: https://www.cibnor.gob.mx/revista-rns/pdfs/vol7num1/2_MAS_ALLA_POPOTES.pdf, consultado el 11 de febrero de 2022.
- Zenteno Savín, T., V. Labrada Martagón y R. Gaxiola Robles (2019), "Respuestas fisiológicas de organismos marinos ante contaminantes", en: M. J. Rivera y P. Hernández (eds.), *Bioacumulación y transferencia de metales y contaminantes emergentes a través de las cadenas tróficas marinas*, Yucatán, Samsara, pp. 109-131.

Carolina Peña Montes, Luis A. Peralta Peláez y Amelia Farrés

Biorremediación de la contaminación por plásticos

Desde su invención, los plásticos permitieron diseñar productos de alta resistencia a la degradación; sin embargo, su acumulación provoca inmensos daños a los ecosistemas. Las técnicas para eliminarlos incluyen procesos químicos y térmicos que también pueden ser nocivos, pero la biotecnología ofrece métodos limpios llevados a cabo por organismos vivos o sus partes para ayudar a resolver este problema.

¿Por qué es tan difícil degradar un plástico?

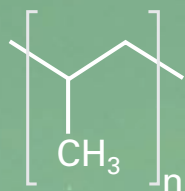
Los plásticos son **polímeros** sintéticos elaborados a partir de petróleo; las condiciones de fabricación dependerán de cada tipo de polímero y de las características del plástico resultante. Por ejemplo, el xileno, obtenido de la refinación de este combustible fósil, se transforma químicamente a ácido tereftálico, uno de los monómeros que forman el polímero denominado polietilentereftalato (PET), el cual fue inventado en 1941 por John Rex Whinfield y James Tennant Dickson y tuvo su principal aplicación a partir de 1976 cuando se utilizó para fabricar envases rígidos para embotellar bebidas carbonatadas. El proceso de fabricación del ácido tereftálico requiere de altas temperaturas (200 °C) y presiones (2 000 kPa), y la síntesis del polímero sucede a temperaturas todavía mayores, con los consiguientes gastos energéticos y la liberación de gases de efecto invernadero.

Químicamente, los plásticos contienen enlaces que son difíciles de romper mediante la aplicación de tratamientos suaves, como ácidos o álcalis (véase la Figura 1); además, incluyen aditivos o sustancias de diferente naturaleza química que los hacen resistentes y dificultan la separación de los monómeros. Por otro lado, el origen sintético de los plásticos impide que sean fácilmente degradados por la mayoría de los microorganismos que usualmente descomponen la materia orgánica que se encuentra en la naturaleza.

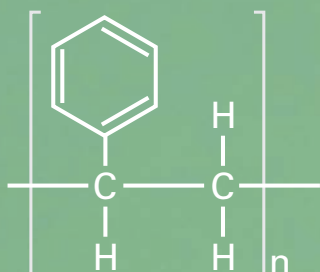
El uso de los plásticos se ha extendido de tal manera que hoy se encuentran acumulados en todos los ambientes, principalmente debido al manejo inadecuado de sus residuos a lo largo de varias décadas (véase la Figura 2). El ritmo de crecimiento mundial de la producción de plásticos es tan rápido que resulta imposible que los

Polímeros

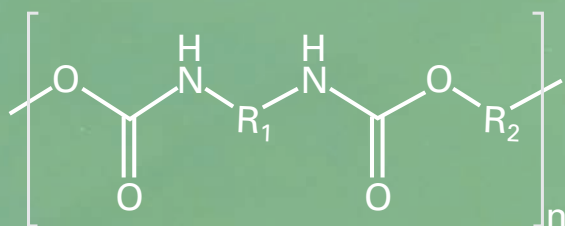
Moléculas de alto peso formadas por monómeros (unidades repetidas) unidos por enlaces químicos.



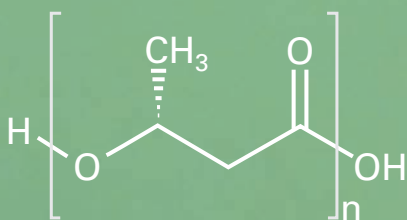
- 1** Polipropileno.
Enlaces Carbono-Carbono Alifático



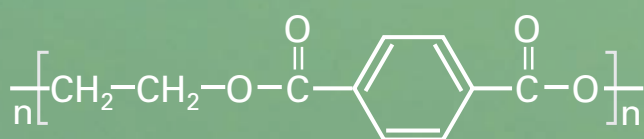
- 2** Poliestireno
Enlaces Carbono-Carbono con grupos aromáticos



- 3** Poliuretano
Enlaces heteroatómicos



- 4** Polihidroxialcanoato
Biopoliéster



- 5** Polietilentereftalato
Poliéster con grupos aromáticos

Figura 1. Naturaleza química de los plásticos: 1) polipropileno (enlaces carbono-carbono alifático); 2) poliestireno (enlaces carbono-carbono con grupos aromáticos); 3) poliuretano (enlaces heteroatómicos); 4) polihidroxialcanoato (biopoliéster); 5) polietilentereftalato (poliéster con grupos aromáticos).

Enzimas
Proteínas que actúan como catalizadores (aceleradores) de reacciones químicas.



Figura 2. Basura de plásticos con materia orgánica, principalmente madera y restos de vegetación en un ecosistema marino. Playa de Antón Lizardo, Veracruz, México. *Fotografía:* Luis Alberto Peralta Peláez.

Intemperización
Degradación de macroplásticos a microplásticos debido a la interacción con factores ambientales.

procesos de oxidación por luz solar, **intemperización** y destrucción mecánica los eliminan rápidamente, pero tras un tiempo prolongado se fragmentan y generan los llamados microplásticos (véase la Figura 3). Los tiempos estimados de degradación en condiciones ambientales normales son de cientos de años para la mayoría de los plásticos, por lo que se han integrado a los ecosistemas e incluso a la biodiversidad, con la consecuente plastificación del planeta. Por lo tanto, ante este panorama, existe la necesidad de degradarlos, es decir, reducirlos, al menos a sus monómeros, o incluso mineralizarlos, lo cual implica que sean convertidos a sustancias inorgánicas no tóxicas, como metano, dióxido de carbono y agua. Los procesos industriales de degradación pueden ser físicos, químicos y biológicos. En este artículo nos centraremos en la descripción de los últimos.



Figura 3. Microplásticos en la playa de Antón Lizardo, Veracruz, México. *Fotografía:* Luis Alberto Peralta Peláez.

Alternativas biotecnológicas

La definición más conocida de *biotecnología* es: “el uso de seres vivos o sus partes para la generación de bienes y servicios”. En el caso de la degradación de los polímeros contamos con varias herramientas que se basan en el uso de microorganismos, e incluso de organismos superiores, como larvas de insecto, o bien de sus **enzimas**. A la fecha existen múltiples procesos en los que participan comunidades microbianas, como los que ocurren en el composteo, en los rellenos sanitarios o en los reactores de tratamiento de aguas. Así, las estrategias biotecnológicas incluyen la inoculación con microorganismos que tienen capacidades de biodegradación y son aprovechados con el fin de lograr mayor eficiencia y reducir los tiempos de degradación. Otra alternativa es la biocatálisis, en la cual los enlaces de los polímeros se rompen con enzimas específicas en condiciones suaves (1 atm de presión y temperaturas entre 20 y 50 °C).

Cabe señalar que la introducción de los plásticos es tan reciente en términos evolutivos que es difícil encontrar organismos capaces de degradarlos si los enlaces no presentan alguna similitud con otros polímeros existentes en la naturaleza. En este sentido, destaca el papel de las enzimas cutinolíticas producidas por hongos fitopatógenos, las cuales degradan polímeros complejos naturales como la cutina, un material ceroso que recubre a los frutos para protegerlos del ataque de microorganismos como los hongos. Las cutinasas como una herramienta valiosa para la descontaminación de residuos plásticos (Peña Montes y cols., 2018) han mostrado ser importantes para la degradación de diversos poliésteres además del PET (véase la Figura 4), polímeros que resultan ser los más fáciles de romper enzimáticamente. El único organismo encontrado capaz de degradar un poliéster con enzimas aparentemente específicas es *Ideonella sakaensis*, aislado en 2016 en un tiradero de plásticos en Japón, el cual produce dos enzimas que actúan en conjunto para la degradación del PET: una es la denominada PETasa, con mayor especificidad por este polímero que otras enzimas capaces de degradarlo a compuestos intermediarios; y la otra es la MHETasa, que lleva a cabo la degradación completa.

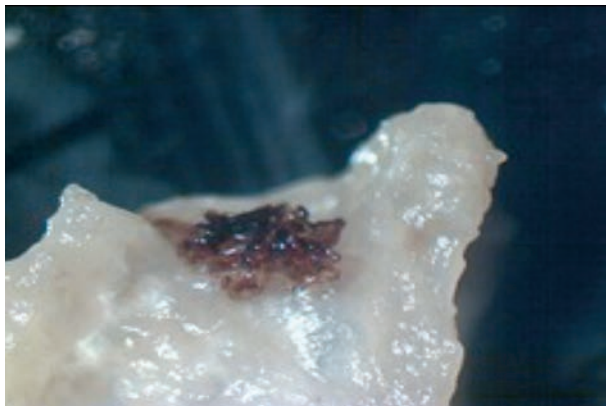


Figura 4. Crecimiento de un hongo fitopatígeno en microplásticos de PET, visto mediante un microscopio estereoscópico con aumento de 80x. Fotografía: Luis Alberto Peralta Peláez.

¿A qué podemos transformar los plásticos existentes?

A partir de los procesos descritos anteriormente, se tienen varias alternativas. Una de ellas consiste en lograr la mineralización completa de la cadena de carbonos para convertirlos en dióxido de carbono, metano, compuestos volátiles y ácidos orgánicos. El metano obtenido puede emplearse como fuente de energía. Otra estrategia es recuperar los monómeros originales y emplearlos posteriormente para sintetizar otra vez el polímero original o nuevas materias primas. Esto es un proceso de economía circular. Aunque no se logre la degradación total, llegan a obtenerse cadenas de menor tamaño que pueden tener otras funciones tecnológicas con respecto a los polímeros originales. Idealmente, los organismos capaces de emplear los plásticos o sus metabolitos como fuente de carbono podrían ser aprovechados para producir biomasa, con aplicaciones en alimentación, fertilizantes o generación de biocombustibles.

Los microorganismos degradadores

Con el paso de los años se ha acrecentado la lista de microorganismos capaces de degradar uno o varios tipos de polímeros contenidos en los plásticos (véase la Tabla 1). En algunos casos se conoce la vía metabólica que lo permite; en otros se han identificado enzimas específicas, como lacasas, poliuretasas, PETasas, cutinasas, esterasas, proteasas o depolimerasas. La estrategia más común para encontrar a este

tipo de microorganismos es tomar muestras de zonas ricas en desechos plásticos y cultivarlas en medios con el plástico que se desea degradar como fuente de carbono. El crecimiento indicará la capacidad degradativa de la especie. En los últimos años, las muestras se analizan en términos de su **metagenoma** y se buscan genes que codifican para las enzimas antes mencionadas, tras lo cual se evalúan funcionalmente sobre el sustrato a degradar.

Cabe mencionar que el caso más eficiente reportado de degradación enzimática de PET corresponde a una cutinasa aislada del metagenoma de composta, un proceso de economía circular que se encuentra ya en etapa preindustrial en Francia. Es importante añadir que para su aplicación a nivel industrial es necesario hacer uso de la ingeniería genética con el fin de introducir el gen que tiene la información para la producción de la cutinasa en otros organismos huéspedes que la produzcan en mayor cantidad y en condiciones más controladas. Los organismos recombinantes no se introducirían al ambiente, sino que se emplearían en los reactores industriales.

Por otro lado, quizás hayamos oído hablar de los gusanos que comen plástico: se trata de diversos tipos de larvas de insecto (la más conocida, *Tenebrio molitor*, el gusano blanco de la harina) que pueden ser cultivadas en restos de poliestireno, donde irán incrementando su biomasa. Se ha descubierto que la capacidad de degradación radica en su microbioma, del que se han aislado varias especies bacterianas. La biomasa producida puede ser empleada como fertilizante o en la alimentación de diversos animales.

Asimismo, en los ambientes acuáticos resulta fundamental el papel de las algas. Dada su adapta-

Metagenoma

Conjunto de genes de microorganismos de un ecosistema determinado.

Tabla 1. Microorganismos degradadores de plásticos.

Microorganismo	Plástico
<i>Ideonella sakaensis</i>	PET
<i>Thermobifida fusca</i>	PET, PHA, PCL, PL
<i>Aspergillus nidulans</i>	PET, PCL, PL, PBS,
<i>Pseudomonas sutzeri</i>	PP
<i>Alicyclophilus BQ1</i>	PU
<i>Cochliobolus</i> sp.	PVC
<i>Rhodococcus ruber</i>	PS

ción a diversos microambientes y profundidades, las podemos encontrar en diferentes áreas afectadas por la contaminación por plásticos. Ahí, se ha demostrado su capacidad tanto para la adsorción como para la detoxificación de los plásticos y, en algunos casos, la completa mineralización.

■ Implementación de estrategias a futuro

■ A la fecha, la mayor parte de los residuos plásticos generados en el mundo son depositados en rellenos sanitarios, mientras una pequeña fracción se incinera y un porcentaje variable se recicla. En este último aspecto, los valores van de casi cero en Estados Unidos de América a aproximadamente 60% de reciclaje “botella a botella” de PET en México, mientras que en Europa la meta es llegar a 30% en 2030. El reúso de plásticos, el incremento de su reciclaje y la eliminación de los plásticos de un solo uso son fundamentales para alcanzar los objetivos globales de sustentabilidad de las Naciones Unidas para el mismo año. La implementación exitosa de esta estrategia implica una cuidadosa separación de los polímeros según su naturaleza química, ya que de ello depende el tratamiento a aplicar. Este proceso es complejo porque requiere de la educación y colaboración de muchos agentes involucrados desde la producción hasta el consumo.

Composteo y rellenos sanitarios

Uno de los mayores pendientes es mejorar el manejo de los rellenos sanitarios y de los procesos de composteo. La diferencia entre ellos radica en el nivel de oxígeno requerido —más elevado en el composteo—, pero en ambos casos se produce dióxido de carbono y metano. Las estrategias biotecnológicas para mejorar estos procesos incluyen el aislamiento de microorganismos y la caracterización metagenómica de los depósitos, para identificar a los más eficientes, inocularlos en las zonas de depósitos de desechos con el objetivo de alcanzar una mayor eficiencia en la degradación de plásticos y permitir su crecimiento de acuerdo con las mejores condiciones de temperatura, pH, oxigenación, cantidades de sustrato, tiempos de residencia, entre otros. Idealmente, se podrán aco-

plar a procesos de recuperación de lixiviados para obtener productos químicos de interés; en el proceso pueden generarse microplásticos, cuya dispersión más allá de la zona de degradación se deberá detener.

Plantas de tratamiento de aguas

Por otra parte, las aguas pueden ser tratadas en reactores aerobios o anaerobios donde se desarrollan comunidades microbianas que pueden ser enriquecidas con microorganismos específicos para el tratamiento de ciertos residuos, como es el caso de los plásticos. Para ello, es fundamental la caracterización de las comunidades microbianas en términos de composición y dinámica, así como la búsqueda de métodos para incorporar a los microorganismos idóneos para la degradación de los diferentes tipos de plástico. En estudios recientes se ha visto que las aguas y lodos salientes de un proceso de tratamiento pueden ser una fuente importante de microplásticos, que van tanto a sistemas agrícolas como acuáticos. Ante esto, será importante acoplar a los sistemas de tratamiento herramientas como sistemas de filtración, aglomeración y de biorremediación que ayuden a paliar este problema.

■ Problemas específicos de la degradación de microplásticos

■ Los microplásticos pueden ser primarios, cuando se diseñan para tener ese tamaño, o secundarios, cuando provienen de la degradación de piezas de mayor tamaño tras su intemperización. El primer problema que plantea su tratamiento es la dispersión de los residuos, así como la heterogeneidad de su naturaleza química. En algunos casos se forman **biopelículas** que pueden ser colonizadas por microorganismos degradadores, pero adicionarlos a los cuerpos de agua no es una estrategia viable para resolver el problema porque el impacto ecológico podría ser peor.

■ Conclusión

■ Como hemos visto, se dispone de diversas herramientas biotecnológicas para lograr la transformación de los plásticos en nuevos materiales o en energía. Las soluciones son multidisciplinarias y es necesario

Biopelículas
Comunidad de microorganismos adheridos a superficies mediante polímeros secretados.

evaluar el impacto ambiental de cada estrategia, con el fin de establecer una economía circular que permita degradar biológicamente los residuos generados hasta sus monómeros para su posterior reciclaje, o bien lograr la degradación completa (mineralización) para generar sustancias orgánicas no tóxicas que se integren al ambiente. Adicionalmente, con los diversos tratamientos es factible pensar en métodos para la obtención de energía.

Las tareas más importantes que se deben desarrollar para lograr el éxito de las estrategias biotecnológicas consisten en la caracterización de metagenomas y comunidades microbianas para identificar a las enzimas y vías degradativas específicas para cada tipo de plástico. Incluso es posible pensar en biorreactores para el tratamiento de plásticos por medio de microorganismos o sus enzimas. De hecho, en los próximos dos años se iniciará en Francia un proceso enzimático de degradación de PET a nivel industrial, aplicable a otros poliésteres, para procesar miles de toneladas a la semana. Adicionalmente, existen ensayos de producción de bioplásticos, como polihidroxialcanoatos, a partir del crecimiento de biomasa en plástico. Los microorganismos aislados y seleccionados podrán ser posteriormente incorporados a sistemas tradicionales, como composteo, rellenos

sanitarios o plantas de tratamiento de aguas para garantizar la degradación más completa posible. Idealmente, podrán buscarse sistemas de inmovilización de microorganismos o de algas en puntos específicos, tanto en reactores como en estanques, para reducir la presencia y toxicidad de los microplásticos. De esta manera, la participación de la biotecnología en la carrera contra la invasión del plástico en los ecosistemas del mundo apenas ha comenzado.

Carolina Peña Montes

Laboratorio de Genética Aplicada, Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos, Tecnológico Nacional de México campus Veracruz.

carolina.pm@veracruz.tecnm.mx

Luis A. Peralta Peláez

Laboratorio de Ingeniería Ecológica Ambiental y Ciencias, Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos, Tecnológico Nacional de México campus Veracruz.

luis.pp@veracruz.tecnm.mx

Amelia Farrés

Departamento de Alimentos y Biotecnología, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.

farres@unam.mx

Referencias específicas

- Farrés, A., C. Peña Montes, E. Hernández, S. Morales, M. Sánchez e I. Solís (2021), "Cutinasas recombinantes de *Aspergillus nidulans* para degradación de poliésteres", Patente Mexicana 380946.
- Masiá, P., D. Sol, A. Ardura, A. Laca, A. Y. Borrell, E. Dopico, A. Laca, G. Machado-Schiaffino, M. Díaz y E. García Vázquez (2020), "Bioremediation as a promising strategy for microplastic removal in wastewater treatment plants", *Marine Pollution Bulletin*, 156:111252.
- Peña Montes, C., E. Bermúdez García, S. L. Morales García y A. Farrés (2018), "Las cutinasas como una herramienta valiosa para la descontaminación de residuos plásticos", *Mensaje Bioquímico Español*, 42:24-35.
- Peña Montes, C. y L. A. Peralta Peláez (2018), "Plastificación de la biodiversidad", en V. Ávila Akerberg y T. González Martínez (comps.), *Biodiversidad, servicios ecosistémicos y los objetivos de desarrollo sostenible en México*, México, DAAD-UAEM, pp. 191-210.
- Peralta Peláez, L. A., C. Hernández Álvarez, C. Peña Montes y L. E. Sánchez Higaredo (2020), "Explorando la situación de los plásticos en el medio ambiente para el acceso al agua potable segura en ciudades y comunidades", en M. C. Durán Domínguez de Bazúa (comp.), *Sustentabilidad y desarrollo I. Aspectos socioecológicos*, México, UNAM-DAAD, pp. 79-91.
- Ru, H., Y. Huo y Y. Yang (2020), "Microbial degradation and valorization of plastic wastes", *Frontiers in Microbiology*, 11: 442.
- Sun, J., Z. Zhu, W. Li, X. Yan, L. Wang, L. Zhang, J. Jin, X. Dai y B. Ni (2021), "Revisiting microplastics in landfill leachates: unnoticed tiny microplastics and their fate in treatment works", *Water Research*, 190:116784.
- Tournier, V. et al. (2020), "An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles", *Nature*, 580:216.
- Yoshida, S., K. Hiraga, T. Takehana, I. Taniguchi, H. Yamaji, Y. Maeda, H. Toyohara, K. Miyamoto, Y. Kimura y K. Oda (2016), "A bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate)", *Science*, 351 (6278):1196-1199.

Novedades científicas

Desde la UAM

De actualidad

Desde las redes

Noticias de la AMC



Generación de candidatas a vacunas para la **comorbilidad tuberculosis-diabetes**

Tanto la tuberculosis como la diabetes disminuyen la fortaleza y actividad física de las personas que las padecen. Juntas, llevan a un mayor daño pulmonar, menor éxito del tratamiento e incrementan el número de casos resistentes a antibióticos. Mi grupo investiga candidatas a vacunas contra la tuberculosis para saber si podrían ser una opción que reduzca las complicaciones de ambas enfermedades.

Tuberculosis y diabetes: dos enfermedades que afectan a México

La tuberculosis es una enfermedad que se transmite de persona a persona. Esto ocurre cuando una persona que mantiene en sus pulmones a la bacteria *Mycobacterium tuberculosis* tiene una lesión que, al momento de toser, le permite expulsar a esta bacteria al aire. Las personas que están en contacto cercano con dicho paciente inhalan partículas minúsculas, imperceptibles a simple vista, pero que contienen la bacteria causante de la enfermedad (OMS, 2019).

Esta bacteria es especialmente hábil para aprovechar una serie de “debilidades” en nuestro **sistema inmune** e invadir a personas susceptibles. Factores como la desnutrición y malnutrición o enfermedades como el VIH/sida o la diabetes mellitus debilitan las defensas de las personas y hacen más probable que la infección se desarrolle y se produzca la tuberculosis activa, que se manifiesta con tos, pérdida progresiva de peso y malestar generalizado por un tiempo prolongado. No obstante, la bacteria también puede permanecer oculta por muchos años sin causar ningún daño, lo cual se conoce como tuberculosis latente. Este tipo de infección, que no conduce a ninguna afectación aparente, entraña un riesgo para las personas que la padecen, ya que al ocurrir algún evento que debilite su sistema inmune, se progresa a la enfermedad activa (OMS, 2019).

Por otra parte, la diabetes es un padecimiento en el cual los niveles de azúcar o glucosa en la sangre se encuentran y mantienen elevados de manera constante. Esto se debe, en algunos casos, a que el cuerpo no produce o no utiliza adecuadamente la insulina, una hormona que ayuda a que las células transformen la glucosa que proviene de los alimentos en energía; en otros casos, aunque haya insulina, se

Sistema inmune

Red de células, tejidos y órganos que trabajan en conjunto para proteger al cuerpo de infecciones.

medades y se incrementa el número de casos resistentes a antibióticos, lo que implica prolongar la terapia y sumar más medicamentos que requieren administrarse por más tiempo. Por lo anterior, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que se siga de manera correcta la toma de medicamentos (dosis y tiempo indicado de tratamiento), que haya un seguimiento puntual de los pacientes mediante análisis de laboratorio (sangre, orina, esputo), así como que se notifique al personal médico durante el tratamiento sobre los efectos adversos (vómito, diarrea, dolor intestinal, cambios en el color de la orina, heces o saliva, cambios en el sabor al degustar alimentos, entre otros). Estas recomendaciones tienen como objetivo facilitar la posibilidad de cura y permitir que se hagan ajustes para disminuir las molestias a quien recibe el tratamiento (Segura y cols., 2019).

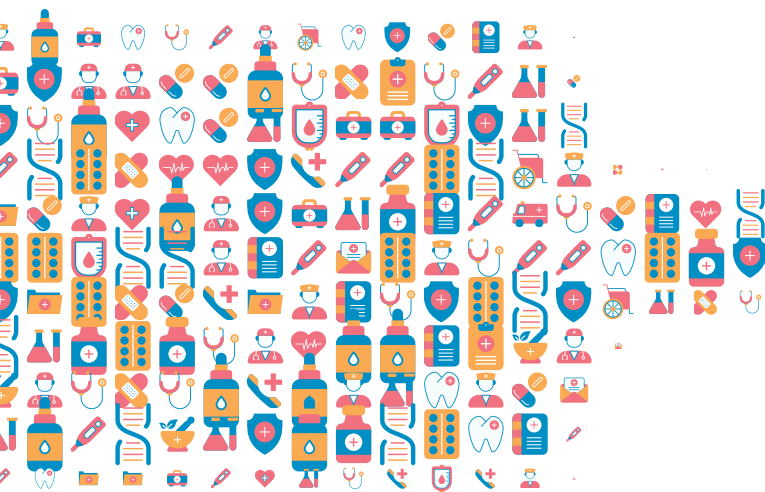
¿Se puede prevenir la tuberculosis y los daños adicionales si también tengo diabetes?

La mayor mortalidad ocurrida a consecuencia de la tuberculosis ocurre en niños que viven en países con un alto número de casos de esta enfermedad, donde se presenta como tuberculosis diseminada en

todo el cuerpo o focalizada en el cerebro. La vacunación cerca del nacimiento con el bacilo de Calmette-Guérin (BCG) consiste en el uso de la bacteria *Mycobacterium bovis* atenuada (debilitada, que no causa enfermedad salvo en condiciones de extrema baja de defensas) para reducir la mortalidad durante la infancia. Por lo anterior, como parte del Programa Ampliado de Inmunización (PAI) de la OMS, la vacuna BCG se administra a cerca de 100 millones de niños en varios países cada año. Pese a estas ventajas, la vacuna BCG actual parece no ser muy efectiva para reducir el progreso de la tuberculosis pulmonar en adolescentes y adultos.

¿Por qué decidimos investigar con cepas ya probadas en otros modelos no diabéticos?

Como ya se mencionó líneas arriba, el padecer simultáneamente tuberculosis y diabetes deteriora la calidad de vida de las personas, incrementa el daño pulmonar y aumenta la resistencia a antibióticos. En el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C., en los últimos tres años, nuestro grupo de investigación ha caracterizado el efecto protector de una nueva candidata a vacuna basada en la BCG modificada, cepa que denominamos BCGΔBCG1419c (Pedroza y cols., 2016; Flores y cols., 2018; Segura y cols., 2018). Esta candidata a vacuna ha demostrado reducir, en gran medida, el daño pulmonar en diversos modelos animales no diabéticos. Por ello, nos preguntamos si



podríamos conseguir este mismo efecto en presencia de diabetes.

Hacia agosto de 2019, en la tesis doctoral de Cristian Alfredo Segura Cerda, encontramos que, efectivamente, la candidata a vacuna BCGΔBCG1419c mejora la protección contra el daño pulmonar en ratones durante etapas avanzadas de tuberculosis y diabetes, por encima de la protección conferida por la vacuna BCG actual. Específicamente, los ratones vacunados con esta candidata a vacuna tenían un porcentaje menor de inflamación pulmonar que los ratones vacunados con BCG regular ($18.64 \pm 3.18\%$ vs. $35.50 \pm 5.062\%$, respectivamente) (Segura y cols., 2020). Asimismo, y de manera sumamente interesante, nos percatamos de que la cepa BCGΔBCG1419c también favorece un mejor control de los niveles de glucosa en sangre y reduce la ganancia de peso en los ratones vacunados con esta candidata.

Desde luego, estos resultados son incipientes y aún están lejos de permitirnos asegurar que ocurriría algo similar en las personas. No obstante, de encontrarse cambios similares en pacientes con diabetes, podemos suponer que al vacunarlos con BCGΔBCG1419c, potencialmente, podríamos contribuir a reducir el sobrepeso, además de disminuir el daño pulmonar, con lo que sin duda ayudaríamos a mejorar su calidad de vida. Evidentemente, estamos muy interesados en continuar esta investigación, ya que hemos situado a nuestro país en el esquema global de grupos que contribuyen a generar conocimiento y aplicarlo en la búsqueda de una mejor prevención de la tuberculosis y la diabetes. Para ello, hemos trabajado en conjunto con el grupo de Rogelio Hernández Pando, del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. Los resultados obtenidos a la fecha son alentadores y ameritan el seguimiento hasta llegar a estudios clínicos, salvo que los siguientes estudios en puerta muestren algún efecto adverso.

Mario Alberto Flores Valdez

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.
floresv@ciatej.mx

Lecturas recomendadas

- Delgado Sánchez, G. *et al.* (2015), "Association of pulmonary tuberculosis and diabetes in Mexico: Analysis of the National Tuberculosis Registry 2000-2012", *PLoS One*, 10:e0129312. Disponible en: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0129312>, consultado el 6 de febrero de 2022.
- Flores Valdez, M. A. *et al.* (2018), "The BCGDeltaBCG1419c vaccine candidate reduces lung pathology, IL-6, TNF-alpha, and IL-10 during chronic TB infection", *Front Microbiol*, 9:1281. Disponible en: <http://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01281>, consultado el 6 de febrero de 2022.
- Jiménez Corona, M. E. *et al.* (2013), "Association of diabetes and tuberculosis: Impact on treatment and post-treatment outcomes", *Thorax*, 68:214-220. Disponible en: <http://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2012-201756>, consultado el 6 de febrero de 2022.
- Jeon, C. Y. *et al.* (2010), "Bi-directional screening for tuberculosis and diabetes: a systematic review", *Trop Med Int Health*, 15:1300-1314. Disponible en: <http://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2010.02632.x>, consultado el 6 de febrero de 2022.
- OMS (2019), *Global tuberculosis report 2019*, Ginebra, Organización Mundial de la Salud. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565714>, consultado el 6 de febrero de 2022.
- Pedroza Roldán, C. *et al.* (2016), "The BCG Delta BCG1419c strain, which produces more pellicle in vitro, improves control of chronic tuberculosis in vivo", *Vaccine*, 34:4763-4770. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.vaccine.2016.08.035>, consultado el 6 de febrero de 2022.
- Segura Cerda, C. A. *et al.* (2018), "Immune response elicited by two rBCG strains devoid of genes involved in c-di-GMP metabolism affect protection versus challenge with *M. tuberculosis* strains of different virulence", *Vaccine*, 36:2069-2078. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.03.014>, consultado el 6 de febrero de 2022.
- Segura Cerda, C. A., W. López Romero y M. A. Flores Valdez (2019), "Changes in host response to *Mycobacterium tuberculosis* infection associated with type 2 diabetes: Beyond hyperglycemia", *Front Cell Infect Microbiol*, 9:342. Disponible en: <http://doi.org/10.3389/fcimb.2019.00342>, consultado el 6 de febrero de 2022.
- Segura Cerda, C. A. *et al.* (2020), "BCG and BCGDeltaBCG1419c protect type 2 diabetic mice against tuberculosis via different participation of T and B lymphocytes, dendritic cells and pro-inflammatory cytokines", *NPJ Vaccines*, 5:21. Disponible en: <http://doi.org/10.1038/s41541-020-0169-6>, consultado el 6 de febrero de 2022.



Biorrefinería: control y aprovechamiento del lirio acuático

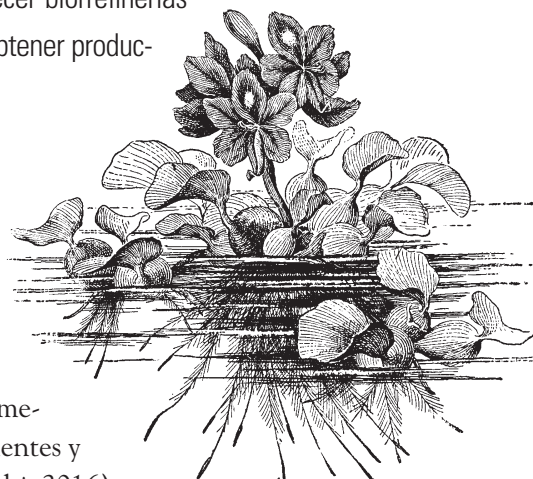
La infestación de lirio acuático origina problemas ambientales, económicos y de salud humana; en tanto, los esfuerzos para controlar su densidad poblacional son costosos y poco efectivos. Para reemplazar estos métodos, se propone establecer biorrefinerías capaces de procesar grandes cantidades de lirio a la semana para obtener productos que signifiquen un beneficio económico para la comunidad.

Introducción

Las malezas acuáticas desempeñan un papel clave en el equilibrio estructural y funcional de los ecosistemas acuáticos; sus poblaciones alteran los regímenes de movimiento del agua, proporcionan refugio y alimento a peces e invertebrados y son capaces de modificar la calidad del agua mediante la regulación del equilibrio de oxígeno, los ciclos de nutrientes y la absorción de metales pesados y otros compuestos tóxicos (Kathi, 2016).

Debido a estas propiedades benéficas y a su peculiar estética, diversas especies de malezas acuáticas han sido introducidas por la acción humana en diferentes regiones del mundo. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las malezas exóticas infestan los cuerpos de agua y generan afectaciones ambientales, económicas y de salud humana.

Entre dichas malezas se encuentra el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) (véase la Figura 1), el cual ha sido trasladado de su ambiente nativo (Brasil y Ecuador) e introducido en diversas zonas de América, Asia y África (Méndez-González y cols., 2021). El lirio acuático puede alcanzar una tasa anual de reproducción superior a las 1 400 toneladas por hectárea (Abselhamid y Gabr, 1991), por lo que, en pocos días, su población es capaz de infestar embalses acuáticos y afectar las rutas de navegación y pesca, bloquear canales de riego y redes hidráulicas, limitar el paso de luz y transporte de oxígeno y ocasionar la evaporación excesiva de agua (Gunnarsson y Mattsson, 2007).



Embalse

Depósito de agua formado de manera artificial.

Biomasa
Materia originada por
un proceso biológico.



Figura 1. Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). Crédito: Biorrefinería LirMexIII.

El problema del lirio acuático en México

En nuestro país, las infestaciones de lirio acuático generan focos de infección debido a la acumulación de basura y al estancamiento de agua. Además, ocasionan pérdidas económicas relacionadas con las actividades turísticas, pesqueras y agropecuarias. Incluso los cambios químicos y físicos en el ambiente acuático provocados por la infestación son responsables de la disminución y desaparición de poblaciones endémicas de plantas y animales (como ajolote, charal, ranas y aves).

En la mayoría de las regiones afectadas, el presupuesto disponible para remover el lirio acuático es escaso, por lo que no todas son atendidas. La estrategia más utilizada en México requiere maquinaria pesada; en consecuencia, por su alto costo, esto no se lleva a cabo en la mayoría de las comunidades afectadas. En algunos casos, los habitantes organizan brigadas para remover el lirio de forma manual (véase la Figura 2), pero esto sólo contribuye al control

parcial del problema. Otras estrategias que se han implementado incluyen la aplicación de herbicidas químicos y agentes biológicos; sin embargo, debido a su baja efectividad y elevados costos económicos y ambientales, han caído en desuso.

En la actualidad, la alta capacidad de propagación y persistencia del lirio acuático es un problema en los cuerpos de agua que ha sobrepasado por mucho los esfuerzos desarrollados para controlar sus poblaciones. No obstante, debido a que esta maleza tiene una composición rica en polisacáridos (celulosa y hemicelulosa) y minerales, una alternativa para erradicarla se basa en la posibilidad de aprovecharla como materia prima para ciertos procesos de producción de materiales de construcción, papel, bioenergéticos (etanol y metano), fertilizantes (composta y lombricomposta), enzimas, alimento para ganado e incluso hongos comestibles. Por lo anterior, alrededor del mundo está cobrando fuerza el enfoque del control poblacional del lirio acuático mediante el uso sostenible de su **biomasa**. El beneficio económico que se obtiene por los productos fabricados a partir del lirio acuático se incrementa en las refinerías que son capaces de procesar varios productos, pues se genera una cadena de producción que aprovecha la mayor parte de la planta (Nega y cols., 2021).

Panorama de las biorrefinerías de lirio acuático

El lirio es la planta acuática flotante más agresiva del mundo, enlistada entre las 100 peores especies



Figura 2. Remoción manual de lirio acuático. Crédito: Biorrefinería LirMexIII.

exóticas invasoras (Romero-Borbón y cols., 2022). Esta especie, bajo condiciones favorables de temperatura y disponibilidad de nutrientes, puede duplicar su biomasa de 6 a 18 días con una alta densidad (arriba de 60 kg/m²). Una vez que el lirio acuático se presenta en un cuerpo de agua es muy complicado erradicarlo o por lo menos controlarlo (véase la Figura 3).

Para combatir los problemas que se atribuyen a la infestación del lirio acuático en los cuerpos de agua, se han desarrollado diferentes técnicas. Las principales incluyen su remoción por métodos mecánicos y la aplicación de sustancias químicas y de agentes de control biológico. Sin embargo, cada uno de éstos tiene limitaciones. Por ejemplo, los métodos mecánicos son costosos y requieren una labor intensiva; los métodos químicos, además de costosos, no pueden controlar grandes infestaciones de lirio acuático y llegan a generar efectos adversos en otras especies y en el ambiente; por otra parte, los métodos biológicos requieren tiempos prolongados para actuar y no logran una reducción importante (Sharma y cols., 2016).

Ante este panorama, el reto es desarrollar un método o una combinación de métodos para lograr controlar el lirio acuático y al mismo tiempo obtener productos a partir de su biomasa. Debido a su composición, el lirio puede ser utilizado como sustrato en una variedad de procesos biotecnológicos. Una alternativa para el aprovechamiento del lirio que se obtiene por extracción mecánica y su uso como sustrato consiste en su procesamiento en una biorrefinería.

Biorrefinería LirMex III

Una biorrefinería es una instalación que integra los procesos y el equipamiento necesarios para obtener combustibles, energía y otros productos químicos a partir de la biomasa. El concepto de biorrefinería implica modelos sostenibles basados en el uso de sistemas renovables. Un ejemplo es la Biorrefinería LirMex III (véase la Figura 4), ubicada en el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC) de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (UAM-X), en el antiguo



Figura 3. Cuerpo de agua infestado con lirio acuático. Crédito: Biorrefinería LirMex III.

canal de Cuemanco, en la alcaldía de Xochimilco. El objetivo de la Biorrefinería LirMex III es implementar una estrategia sustentable con cero residuos para el manejo del lirio acuático. Para ello, se utiliza esta planta como única materia prima en cuatro procesos distintos:

1. **Composteo:** consiste en la descomposición aerobia de la biomasa que convierte la materia orgánica en un producto estable, higiénico y abundante en compuestos **húmicos** y minerales; es decir, la composta. El uso de composta en un suelo aumenta su capacidad de retención de agua

Húmicos

Compuestos orgánicos complejos formados por la descomposición de materia orgánica.



Figura 4. Vista aérea de la Biorrefinería LirMex III, ubicada en las instalaciones del CIBAC. Crédito: Biorrefinería LirMex III.



y de nutrientes, mejora la aireación y disminuye el uso de fertilizantes químicos.

2. *Lombricomposteo*: este proceso se lleva a cabo con base en la interacción entre lombrices de tierra y ciertos microorganismos. Las lombrices fragmentan y acondicionan el sustrato para mejorar la degradación por la actividad microbiana. En la actualidad, estos productos cumplen con la norma NMX-AA-180-SCFI-2018 para la obtención de composta y lombricomposta tipo II.
3. *Biogás*: este combustible es producido por fermentación anaerobia y contiene una mezcla de metano y dióxido de carbono. El biogás se puede utilizar para producir calor (en calderas), como combustible, para generar electricidad (mediante motores o turbinas) e incluso como materia prima. En particular, en la Biorrefinería LirMex III se puede utilizar directamente en los secadores de lirio.

4. *Material absorbente*: el lirio acuático seco contiene un alto número de fibras que le otorgan un poder absorbente importante (hasta 12 veces su propio peso de agua). Esto se puede aprovechar para la recuperación de hidrocarburos o aceites, además de otras potenciales aplicaciones.

La Biorrefinería LirMex III tiene la capacidad de procesar 6 125 kg de lirio acuático por semana. Desde su instalación (en noviembre de 2019) se han tratado 48 lotes de lirio picado y lirio íntegro para producir composta en una batería de cinco compostadores de 1 m³ cada uno y en pilas de composteo de 1.5 m de ancho × 2 m de largo × 1 m de altura, lo que representa 17 toneladas de lirio acuático procesado. También se han utilizado 2.85 toneladas de lirio para producir lombricomposta en cuatro prototipos diferentes: un pie de cría, una zanja y dos reactores de

flujo pistón. Adicionalmente, LirMex III cuenta con dos secadores solares para deshidratar el lirio; con estos equipos se han procesado 527 kg de lirio en 11 lotes para obtener material absorbente. Por otra parte, el biorreactor instalado en la biorrefinería para obtener biogás tiene un volumen útil de 2.7 m³. Para el arranque y la estabilización de este equipo se han destinado 500 kg de lirio y se espera una capacidad de producción de biogás de hasta 14 m³ por semana. La Figura 5 muestra los equipos utilizados para llevar a cabo estos procesos.

El diseño, arranque y operación de la Biorrefinería LirMex III han permitido conocer a detalle cada uno de los procesos unitarios que se llevan a cabo con el lirio acuático como único sustrato. Esta experiencia acumulada se puede implementar para el escalamiento de la planta a una capacidad de 50 toneladas o más de lirio tratado por semana. De la cartera de productos que se obtienen en la biorrefinería (composta, lombricomposta, material absorbente y biogás), la composta se puede utilizar directamente (en una dosis de hasta 30% p/p) para mejorar los suelos, en particular, tierras agrícolas, por lo que se puede beneficiar a productores locales. Considerando únicamente la producción de composta (menores gastos de inversión y operación), con un precio de venta de \$5 pesos (MXN) por kilogramo y dependiendo de la capacidad instalada de la biorrefinería, se puede asegurar un monto anual que cubre los gastos de operación y amortización de la planta. Además, en función de las características y necesidades de la zona, el margen de utilidad se puede incrementar si el escalamiento se extiende a la producción de lombricomposta, material absorbente, biogás, entre otros productos biotecnológicos.

Conclusiones

El lirio acuático es una planta originaria del Amazonas que fue llevada a diferentes partes del mundo, entre otras razones, por su belleza. Sin embargo, su rápido crecimiento, en un periodo de dos a tres semanas, puede formar una capa densa que cubre por completo un cuerpo de agua y ocasiona problemas importantes para la navegación y pesca, actividades recreativas, sistemas de irrigación y generación de



Figura 5. Equipos utilizados en la Biorrefinería LirMex III para producir composta, lombricomposta, material absorbente y biogás. Crédito: Biorrefinería LirMex III.

energía, por mencionar algunos ejemplos. La extracción de esta planta de los cuerpos de agua que infesta cuesta miles de pesos por hectárea al año y hasta el momento no se obtiene un beneficio extra.

Ante ello, el establecimiento y la operación de una biorrefinería constituye una estrategia idónea para transformar el problema de control del lirio acuático en una oportunidad. En el caso de la Biorrefinería LirMex III, se rentabilizan los costos de extracción gracias a la obtención de cuatro productos: composta, lombricomposta, material absorbente y biogás. Todo esto es posible en un sistema con cero residuos y cuya única materia prima es el lirio acuático. Además, LirMex III pretende funcionar como un modelo o vitrina que se podrá replicar en sitios con sobreabundancia de lirio acuático, pues se ha mostrado que es un sistema económicamente rentable, con un impacto ambiental importante y susceptible de escalamiento.

Agradecimiento

La instalación y operación de la Biorrefinería LirMex III cuentan con el apoyo financiero de la Sectei-CDMX (Proyecto 283-2019).

José Antonio Martínez Ruiz

Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.
mrja@xanum.uam.mx

José Fernando Méndez González

Universidad Tecnológica de Tecámac.
jmenendezg@uttecamac.edu.mx

Referencias específicas

- Abdelhamid, A. M. y A. A. Gabr (1991), "Evaluation of water hyacinth as feed for ruminants", *Archives of Animal Nutrition*, 41(7/8):745-756.
- Gunnarsson C. C. y P. C. Mattsson (2007), "Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: A literature review", *Waste Management*, 27:117-129.
- Kathi, S. (2016), "Bioenergy from phytoremediated phytomass of aquatic plants via gasification", en M. N. V. Prasad (comp.), *Bioremediation and Bioeconomy*, Holanda, Elsevier, pp. 111-128.
- Méndez-González, F., A. Pichardo-Sánchez, B. H. Espinosa-Ramírez, N. Rodríguez-Durán, G. Bustos-Vázquez y L. V. Rodríguez-Durán (2021), "Valorization of non-native aquatic weeds biomass through their conversion to biofuel", en L. J. Ríos González, M. A. Medina-Morales, J. A. Rodríguez-de-la-Garza y C. N. Aguilar (comps.), *Consolidated processes: bioenergy, biomolecules and biomaterials*, Florida, Apple Academic Press, pp. 271-282.
- Nega, D. T., A. V. Ramayya, F. Manenti y A. F. Amaral (2021), "Turning curse into cure: Potencial of water hyacinth for bio-refining. A contextual investigation of Lake Tana", *Environmental Challenges*, 5: 1000387.
- Romero-Borbón, E., A. Oropeza-González., Y. González-García y J. Córdova (2022), "Thermochemical and enzymatic saccharification of water hyacinth biomass into fermentable sugars", *Processes*, 10:1-12.
- Sharma, A., N. Aggarwal., A. Saini y A. Yadav (2016), "Beyond biocontrol: Water hyacinth-opportunities and challenges", *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(1):26-48.





La educación superior en México en la pospandemia: ¿hacia dónde?

El sector educativo resultó seriamente afectado por la pandemia de COVID-19 y las instituciones de educación superior tuvieron que improvisar la transición de un modelo presencial a uno remoto. Sin embargo, debieron atenderse algunas dimensiones para que el cambio no sólo fuera duradero sino también exitoso. Múltiples estudios han demostrado los aciertos y los fracasos durante estos casi dos años.

Introducción

El subsistema de educación superior en México ha tenido que enfrentar muchas dificultades para desarrollarse con calidad, ante las cambiantes políticas públicas en la materia que se han puesto en marcha y a pesar de la reducción de los recursos que se le destinan. La COVID-19 se presentó de manera sorpresiva, cuando no se habían tomado previsiones ni se habían delineado posibles líneas de acción a partir del momento en el que se hizo evidente que lo que era una epidemia en una región de China se convertiría en una pandemia con consecuencias muy graves para todo el mundo. Las universidades y otras instituciones de educación superior (IES) se vieron obligadas a improvisar, a fin de que sus estudiantes no perdieran el ciclo escolar que se encontraba en curso. Sobre todo, se trató de poner a disposición del profesorado, independientemente de su conocimiento, experiencia y habilidades digitales, “aulas virtuales” con las que se intentó continuar la función docente, aunque su funcionamiento –como era de esperarse– ha dejado mucho que desear, tanto para estudiantes como para profesores.

Desde hace décadas sabíamos que las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) tenían el potencial de impactar los procesos de enseñanza y aprendizaje de muchas maneras, afectándonos a todas y todos, lo mismo que a las actividades que los caracterizaban hasta entonces. Sin embargo, una disrupción mayor a la que la propia tecnología había generado en la vida de millones de personas en todo el mundo apareció a principios de 2020: la generada por el virus SARS-CoV-2. En el caso de la mayoría de las IES, el peso de la tradición y las múltiples desigualdades –entre ellas, las brechas etaria y tecnológica que separan a

docentes y estudiantes— han sido factores que nos han impedido salir airoso del reto que se nos presentó en un momento en el que nadie se imaginaba que su duración sobrepasaría los dos años. Resulta asombroso ver que el uso de las TIC más populares y menos sofisticadas se volvió una exigencia para intentar que unos continuaran enseñando, al tiempo que otros siguieran aprendiendo. Sin embargo, no todas las personas han podido cumplir a cabalidad esta exigencia y, desafortunadamente, las instituciones educativas y demás agentes involucrados empezamos ya a resentir sus efectos más negativos.

A partir del reconocimiento de la pandemia y de la necesidad de suspender toda actividad presencial para evitar los contagios, una de las mayores preocupaciones de las autoridades educativas fue definir cómo transitar de un modelo de enseñanza cara a cara, instituido varias centurias atrás, a modelos no presenciales para los que ni docentes ni estudiantes, ni las mismas IES, estaban preparados.

De las clases remotas a la educación en línea

Sin tener la debida formación para enseñar en línea, carentes de experiencia personal en las nuevas prácticas y desconociendo la variedad de plataformas que han sido expresamente desarrolladas con fines educativos, muchas profesoras y profesores accedieron a participar en los esfuerzos institucionales

de no interrumpir el semestre escolar; no obstante, las “aulas virtuales” pronto pusieron de manifiesto que, más allá de las brechas digitales, se ignoraban las características de los dispositivos tecnológicos y de la conectividad a las que sus alumnos y alumnas tenían acceso, lo mismo que las de sus propios entornos socioeconómicos y familiares.

Dada la incertidumbre que todavía hoy tenemos sobre la duración de la pandemia, surgen preguntas en las que vale la pena reflexionar, de tal manera que al final de este periodo de miedo y de cautela se puedan despejar algunas de las interrogantes que han salido a flote en este ya largo tiempo. Una duda que resulta medular es en torno a las posibilidades que tienen las IES para combinar la educación presencial con modalidades mediadas por tecnología. En no pocas partes del mundo —aunque por otras razones y en momentos anteriores a la pandemia— se formaron grupos que desarrollaron nuevos modelos educativos en los que se buscaba reducir la presencia física y aumentar el acceso a la oferta educativa en modalidades en línea. Además de ofrecer respuestas a los problemas de cobertura, estos modelos también servían para ampliar las oportunidades de atender el rezago educativo y dar cabida al aprendizaje a lo largo de la vida. México no ha estado ajeno a esas inquietudes y, a pesar de las muchas dificultades que se han tenido que superar, por la diversidad de modalidades alternativas y la calidad desigual de dicha oferta educativa, la matrícula en modalidades no presenciales ha ido en aumento, como lo evidencia la Figura 1.

No obstante la tendencia creciente de la matrícula mal llamada “no escolarizada”, la COVID-19 puso de manifiesto que muchas de esas experiencias transitaban por caminos distintos a los de la educación a distancia —casi siempre sin interacciones y de manera sincrónica— incluso dentro de las mismas instituciones que las ofrecían. Dada la incertidumbre en torno del contexto social, económico e institucional que enfrenta nuestro país en el presente, y seguramente en los meses por venir, conviene preguntarnos: ¿será posible que las IES mexicanas puedan transitar de forma exitosa a opciones no presenciales o a modelos mixtos en los que ambas modalidades



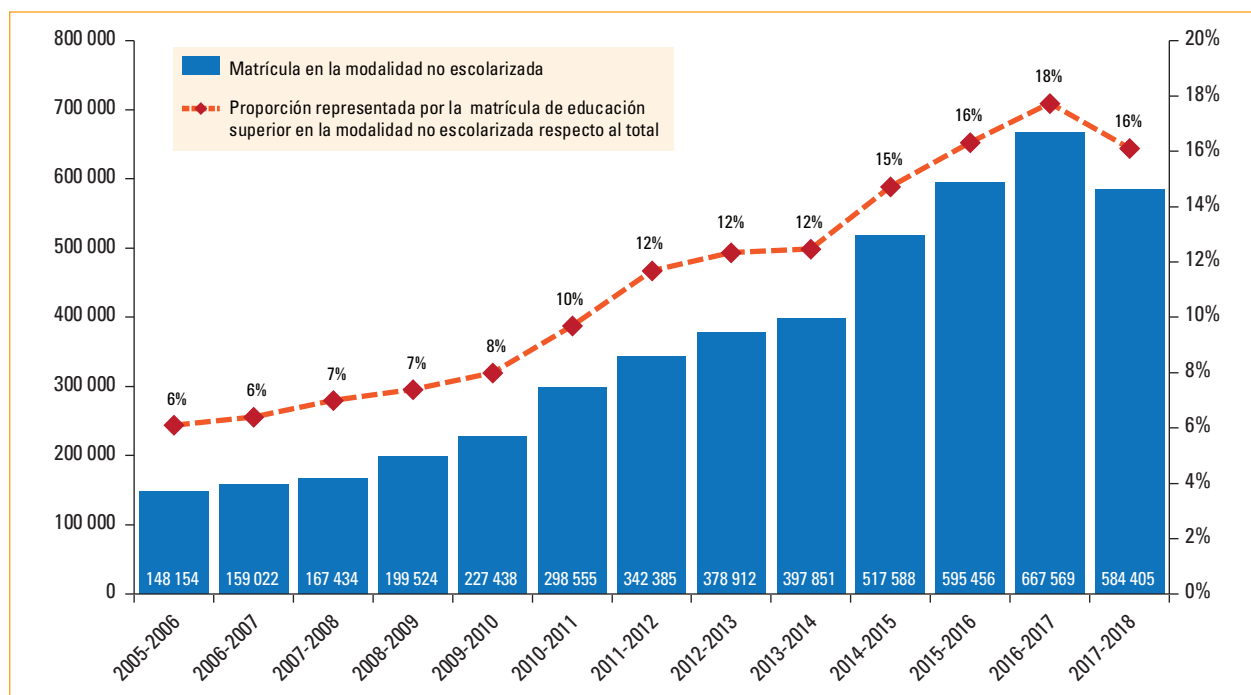


Figura 1. Evolución de la matrícula de licenciatura en modalidades no presenciales, 2011-2021, México. Fuente: ANUIES.

convivan, sin desgastar innecesariamente al profesorado y garantizando el aprendizaje y su disfrute por parte de sus estudiantes?

En este artículo se presenta una serie de aspectos que se considera imprescindible contemplar para que las instituciones que están explorando la idea de empezar a adoptar modelos en línea, híbridos, mixtos o multimodales puedan lograrlo de una manera que no resulte demasiado onerosa y que sí garantice su viabilidad, sin sacrificar a su personal docente y buscando beneficiar a los estudiantes que tienen los dispositivos y la conectividad requeridos para ser corresponsables de sus propios procesos de aprendizaje. Ésta es una condición implícita en las modalidades a distancia cuando se ponen en marcha de manera formal. Desde luego, no se considera deseable que los esfuerzos se reduzcan a la simple gestión de “aulas virtuales”, sino que constituyan verdaderos entornos de aprendizaje mediante el uso de plataformas que trascienden el mero acto de la “presencialidad sincrónica” que las videoconferencias permiten.

Los entornos de aprendizaje mediados por tecnología están centrados en cada estudiante y propician que ellas y ellos puedan estudiar lo que quieran,

cuando quieran y donde quieran. Para que se logre, las y los docentes tienen que adaptarse a los nuevos roles que desempeñarán al acompañar, orientar y arropar al alumnado en sus procesos formativos. En la naturaleza misma de aquellos modelos que incluso facilitan la atención de grandes volúmenes de una matrícula, también se encuentran técnicas que permiten satisfacer algunas especificidades individuales de cada estudiante. Si esto se logra, tendremos una educación más abierta, inclusiva y ubicua.

Las TIC, de la mano de modelos pedagógicos innovadores, han facilitado y seguirán favoreciendo muchos tipos de transiciones, tanto en la concepción misma de la educación como en su diseño, operación y gestión. Una reflexión abierta y propositiva debe sentar las bases de las acciones que les permitan a las IES cumplir a cabalidad con su función docente, dando atención a las necesidades emergentes de una población susceptible de contagios pero a la vez cambiante en sus perfiles sociodemográficos, así como de un mercado laboral que hoy parece incierto pero que se ha mostrado cada vez más dinámico y competitivo. Entre las dimensiones que se consideran relevantes para esta propuesta, a continuación se exponen las siguientes cuatro:



a. Diseño y actualización curricular de la educación formal

El diseño curricular pensado para sistemas presenciales, no presenciales y mixtos debe ser enriquecido con la mediación tecnológica, lo cual asegura una mayor flexibilidad, el surgimiento de comunidades de aprendizaje, el aprendizaje colaborativo y la interacción de los agentes entre sí y la de éstos con los materiales didácticos.

Los programas de estudio, por su parte, deben expresar los objetivos, la organización de los contenidos; la metodología didáctica: estrategias de enseñanza y de aprendizaje, recursos didácticos, medios tecnológicos, materiales, tiempos y espacios flexibles para su ejecución, así como los criterios de evaluación y acreditación. Cada currículo debe ser diseñado *ad hoc* para modalidades mixtas, en las que la educación presencial, abierta y a distancia puedan coexistir y partir de los mismos estándares de calidad. La movilidad de estudiantes, no sólo entre modalidades, sino también entre programas formales que permitan el trazo de nuevos perfiles profesionales, deberá asumirse como un reto pendiente.

Efectivamente, los sistemas presenciales deberán pasar por un proceso de transformación mediante la inclusión de asignaturas y actividades en modalidades a distancia, lo cual propiciará una hibridación que permitirá la flexibilización curricular. Para ello, es necesario que estas acciones se lleven a cabo de

manera institucional, de tal suerte que un o una estudiante pueda trazar su propia trayectoria formativa a partir de condiciones de movilidad entre modalidades y de libertad que faciliten la elección de la estrategia que más convenga y la forma en la que se desea abordar el currículum.

b. Habilidades digitales

En los últimos quince años se han desarrollado importantes iniciativas para mejorar la alfabetización digital en México. Hoy más que nunca se deben multiplicar los esfuerzos para impulsar la apropiación de las habilidades digitales en toda la población universitaria: docentes, estudiantes y trabajadores, independientemente de su edad, sexo y condición laboral.

Las IES necesitan contar con una planta académica actualizada no sólo en los aspectos disciplinares, sino también en los conocimientos y las destrezas que esta pandemia ha puesto de manifiesto que son indispensables. De acuerdo con las tendencias señaladas por especialistas de todo el mundo, la concepción de la enseñanza tendrá cambios sustantivos en el futuro inmediato, mediante la expansión de recursos educativos abiertos, la mejora de la alfabetización digital, la personalización de la enseñanza, los modelos de aula invertida y el aprendizaje ubicuo.¹ Estas ten-

¹ Los recursos educativos abiertos (REA) son aquellos materiales didácticos digitales que se encuentran a disposición de quien desee usarlos, ya sea porque están en el dominio públi-

Cuadro 1. Marco de Habilidades TIC para docentes.

	Adquisición de conocimientos	Profundización de conocimientos	Creación de conocimientos
Comprensión del papel de las TIC en la educación	Conocimiento de las políticas	Aplicación de las políticas	Innovación de las políticas
Currículo y evaluación	Conocimientos básicos	Aplicación de los conocimientos	Competencias de la sociedad del conocimiento
Pedagogía	Enseñanza potenciada por las TIC	Resolución de problemas complejos	Autogestión
Aplicación de competencias digitales	Aplicación	Infusión	Transformación
Organización y administración	Aula estándar	Grupos colaborativos	Organizaciones que aprenden
Aprendizaje profesional de los docentes	Alfabetización digital	Trabajo en redes	El docente como innovador

Fuente: Unesco (2019).

dencias, todas ellas mediadas por el uso sistemático de la tecnología, requieren de la consolidación de las habilidades digitales que, según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) pueden categorizarse conforme a lo que señala el Cuadro 1.

Por su parte, los y las estudiantes –quienes ya se desempeñan en ambientes digitales, aunque frecuentemente sea con fines distintos a los del aprendizaje– requieren fortalecer los usos académicos de las TIC. Los entornos sociales se transforman de manera acelerada y la universidad debe establecer diálogos con las nuevas formas y los nuevos usos de interacción social y de acceso a la información. Desde luego, se considera altamente deseable que, al menos durante un lapso finito, todo el alumnado de la educación superior en zonas urbanas tenga acceso gratuito a internet, lo que favorecerá las posibilidades de continuar su formación. A su vez, el personal destinado a la administración escolar debe contar con los conocimientos y la experiencia necesarios para

co o porque fueron liberados mediante una licencia o acuerdo que permite su uso. La alfabetización digital, además del conocimiento para utilizar tecnología digital, implica la capacidad de resolver problemas, de adquirir nuevos conocimientos mediante el uso de la tecnología y de poder aplicarlos. Por “modelos de aula invertida” nos referimos a modelos semipresenciales que combinan interacciones cara a cara con el uso de tecnología. Por último, el aprendizaje ubicuo es el que se adquiere independientemente del lugar y momento en el que se logra.

el manejo eficiente de sistemas de información que faciliten los procesos de registro y seguimiento, para que con ello mejoren sustancialmente la eficiencia de los trámites, el resguardo de la información, la comunicación interna y externa y, en general, todos los mecanismos que permitan tener una institución eficiente, sin necesidad de la presencia física ni de los traslados colectivos.

c. Estructura organizativa

La incorporación de las TIC en los procesos de enseñanza y de aprendizaje ha generado perturbaciones en los sistemas organizacionales asociados fundamentalmente a la educación media superior y superior. Por ello, es necesario diseñar estructuras adaptativas que atiendan los requerimientos emergentes emanados de innovaciones tecnológicas y pedagógicas, de tal forma que se promueva la multimodalidad y una construcción más personalizada del currículum. Lo anterior permitirá dar una mejor respuesta a las necesidades que surgen de la presencia nacional, regional y estatal de nuestras IES, producto de la ubicuidad digital, tales como programas de educación media superior y superior pertinentes y de calidad, lo mismo que servicios educativos acordes con las condiciones tecnológicas y sanitarias locales o regionales. Asimismo, la organización facilitará la movilidad entre modalidades con la finalidad de apuntar

hacia sistemas en los que la modalidad elegida para los estudios se vuelva irrelevante.

d. Marco normativo y cuerpos colegiados

A la fecha, algunos modelos educativos semipresenciales o no presenciales cuentan con marcos normativos definidos en reglamentos o estatutos institucionales en los que se incorporan pocas disposiciones para fortalecer los procesos educativos y administrativos de estas modalidades. Si bien algunas IES han trabajado en propuestas normativas para la reforma de la educación superior que consideran adecuaciones para ampliar y flexibilizar la oferta educativa en cualquier modalidad, habrá que revisar otros instrumentos normativos que incidan en temáticas más allá de su desarrollo y gestión.

Una de ellas es el reconocimiento a las características especiales del personal docente y su consecuente impacto en los esquemas y mecanismos vigentes de ingreso, evaluación, promoción y permanencia en la planta académica. Otra es la modificación de los procesos administrativos que exigen a los y las estudiantes en modalidades semipresenciales o no presenciales trasladarse a las instalaciones de sus respectivas universidades para llevar a cabo trámites escolares. Una tercera es la falta de claridad en las funciones de los cuerpos colegiados que intervienen en la aprobación de un plan o programa de estudios en estas modalidades, ya sea nuevo o actualizado.

Por último, conviene mencionar que, en términos generales, casi toda la estructura normativa vigente está pensada para el sistema presencial, equivocadamente llamado “sistema escolarizado”. Las otras modalidades educativas también son escolarizadas, de ahí que sea pertinente hacer una revisión profunda que reconozca formalmente su rigor, sus modelos y sus aportaciones.

Conclusión

Muchas de las acciones emprendidas a partir de la llegada de la pandemia –que tantos efectos nocivos ha tenido y todavía tendrá en el futuro– se relacionan con una o varias de las dimensiones aquí sugeridas. No obstante, resulta urgente empezar la tarea

de modificar el marco normativo que rige la educación superior en México, al tiempo que busquemos impulsar cambios benéficos para los esquemas multimodales y para las mismas universidades que los ofrecerán, teniendo siempre en mente a sus agentes principales: docentes y estudiantes. El agotamiento de los primeros y el hartazgo y aburrimiento de los segundos obligan a evaluar lo hasta ahora realizado, independientemente de la aparente cercanía de volver a las aulas con esquemas tradicionales que ya habían dado muestras de caducidad.

Como señalara Keith Holmes, del Laboratorio de Ideas sobre los Futuros de la Educación² de la Unesco: “las respuestas educativas a la crisis tienen la capacidad de cambiar los significados, los propósitos y los valores de ‘la escuela’”. No es difícil albergar la esperanza de que todavía es posible cambiarlos a nuestro favor.

Judith Zubieta García

Instituto de Investigaciones Sociales y Programa Universitario de Estudios sobre Educación Superior, Universidad Nacional Autónoma de México.

zubieta@unam.mx

Lecturas recomendadas

ANUIES (2021), *Anuarios Estadísticos (2011 a 2021)*, México, Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. Disponibles en: <<http://www.anui.es.mx/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>>, consultado el 11 de febrero de 2022.

CUAED (2015), *La educación mediada por tecnologías en el futuro de la UNAM*, México, Coordinación de Universidad Abierta y Educación a Distancia.

Unesco (2019), *Marco de competencias de los docentes en materia de TIC (versión 3)*, París, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Disponible en: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000371024>>, consultado el 11 de febrero de 2022.

² Véase <<https://en.unesco.org/futuresofeducation/ideas-lab>>.

José Eduardo González Reyes

Desde las redes

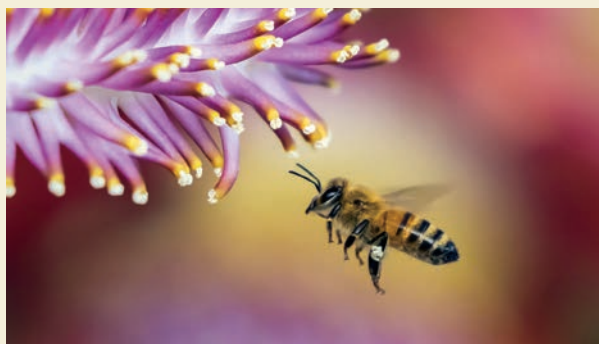
Medir aleteos para salvar la biodiversidad

Los insectos son el grupo más grande y diverso de animales descritos en la Tierra; alrededor de 80% de todas las especies de animales terrestres del planeta son insectos. Desafortunadamente, las poblaciones de estos animales se están reduciendo a un ritmo alarmante. Un estudio publicado en 2017 estimó una pérdida de 70% de los insectos voladores en 30 años.

Sin embargo, los insectos constituyen uno de los grupos más complicados de monitorear debido a su tamaño pequeño, alta movilidad y similitud entre especies. Las técnicas de monitoreo convencionales requieren la captura de los especímenes para después identificarlos en el microscopio a nivel de especie o familia. Esta titánica tarea consume mucho tiempo y supone retrasos en la obtención de datos para la toma de decisiones en beneficio de la conservación de estos organismos, los cuales son un sostén importante para la producción global de alimentos debido a su papel crucial en la polinización de especies vegetales.

Un grupo de investigadores de la Universidad de Copenhague decidió poner manos a la obra para desarrollar un algoritmo capaz de identificar y contar a las poblaciones de insectos en la naturaleza en función de las mediciones obtenidas con un sensor de rayos infrarrojos. Aunque estos sensores han sido usados en el pasado, el procesamiento hasta ahora era poco sensible para obtener parámetros como la riqueza y diversidad de especies de las muestras.

El algoritmo clasifica a los insectos por la forma de sus alas y la frecuencia de sus aleteos. Para ello, el sensor funciona de la misma manera que las cámaras de vigilancia que se usan para monitorear los movimientos de los animales más grandes en vida



Mediante un sensor de rayos infrarrojos y un algoritmo, esta nueva herramienta permitirá hacer un monitoreo más rápido de las poblaciones de insectos. Crédito: Pexels/Pixabay.

silvestre, pero en lugar de tomar fotografías, registra a los insectos que han volado hacia la fuente de luz. A continuación, los distingue por sus siluetas cuando sus alas están desplegadas, ya que es cuando las diferencias físicas se vuelven más evidentes; luego los compara con grabaciones y los clasifica en grupos para determinar qué insecto fue el que probablemente voló a través del haz de luz.

El sensor será puesto en marcha en el campo durante esta primavera y sus resultados se compararán con aquéllos de los métodos convencionales. Los investigadores consideran que su uso mejorará enormemente las posibilidades de seguimiento y las herramientas de apoyo para la toma de decisiones entre especialistas en entomología y agronomía con el fin de mitigar la tendencia de disminución de las comunidades de estos animales.

Más información

Rydhmer, K. y R. Selvan (2021), "Dynamic β -VAEs for quantifying biodiversity by clustering optically recorded insect signals", *Ecological Informatics*, 66:101456. Disponible en: <doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101456>, consultado el 21 de marzo de 2021.

Una nueva visión del universo en infrarrojo

El telescopio espacial James Webb registra observaciones en el rango del infrarrojo con un espejo primario de aproximadamente 6.5 metros, dividido en 18 paneles hexagonales hechos de berilio ultraligero y recubiertos de una fina capa de oro. Para su lanzamiento, el 25 de diciembre de 2021, el espejo tuvo que ser doblado debido a que no cabía dentro del cohete. Esta medida imponía el reto de que, una vez en posición en el espacio, se habría de calibrar cada uno de los segmentos del espejo para obtener una sola superficie.

El pasado 16 de marzo de 2022 se dio a conocer una imagen de la estrella 2MASS J17554042+6551277 con la que el telescopio completó su fase fina de nivelación, con una precisión de nanómetros. Si bien el propósito de la toma era enfocarse en la estrella brillante para evaluar la alineación del espejo, la óptica del Webb y la cámara de infrarrojo cercano (NIRCam) son tan sensibles que captaron también

a las galaxias y las estrellas que se ven en el fondo, por lo que esta imagen es considerada, al momento de su publicación, como la más nítida que se puede obtener de un telescopio de este tamaño.

Durante las próximas semanas y antes de los primeros días de mayo, el equipo procederá con los pasos restantes de la alineación antes de seguir con los preparativos finales. Se calibrará el espectrógrafo para el infrarrojo cercano, el instrumento para el infrarrojo medio y el generador de imágenes para el infrarrojo cercano y espectrógrafo sin rendija. Se espera que las primeras imágenes de resolución completa y datos científicos del James Webb sean publicadas en el verano de este año.

Más información

NASA (2022), "James Webb Space Telescope", NASA. Disponible en: <<https://www.nasa.gov/webb>>, consultado el 21 de marzo de 2021.



Esta imagen de la estrella 2MASS J17554042+6551277 fue capturada por el telescopio James Webb durante su fase de alineación fina. Para obtenerla, se empleó un filtro rojo que ayuda a optimizar el contraste visual. Crédito: NASA/STScI.



Los contaminantes generados durante los incendios del “verano negro” en Australia produjeron pérdidas importantes en la capa de ozono. Crédito: Helitak430/Wikimedia.

Un verano que dañó la capa de ozono

El verano australiano de 2019 a 2020 es conocido como el “verano negro”. Ese país experimentó la peor temporada de incendios de su historia: se quemaron más de 18 millones de hectáreas, de las cuales 66% eran bosques, con un efecto devastador para la biodiversidad del sudeste de Australia. Organizaciones como el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés) estiman que tres mil millones de animales fueron afectados por el fuego, más de 30 personas perdieron la vida y miles de hogares fueron consumidos por las llamas.

Además de estas consecuencias desastrosas, un grupo de investigadores se preguntó si las columnas de humo producidas por el siniestro tuvieron algún efecto en la atmósfera. Los incendios del “verano negro” produjeron enormes sistemas meteorológicos conocidos como nubes pirocumulonimbus, que bombardearon cantidades récord de humo y aerosoles directamente a la estratósfera, a una altitud de entre 10 y 30 km sobre la superficie de la Tierra. Esto tuvo

un efecto nunca antes visto en 15 años de mediciones satelitales con el SCISAT-1 de la Agencia Espacial Canadiense, del que se obtuvieron los datos para este estudio.

La mezcla de sustancias liberada aumentó los niveles de moléculas que devoran la capa de ozono que nos protege de la radiación ultravioleta. Aunque se ha observado una recuperación del daño producido en la atmósfera por los eventos de 2020, los investigadores postulan que una alta recurrencia de estos fenómenos, influenciada en parte por el cambio climático, podría tener efectos negativos en las estimaciones de recuperación de los niveles de ozono anteriores a la década de 1980.

Más información

Bernath, P. *et al.* (2022), “Wildfire smoke destroys stratospheric ozone”, *Science*, 375(6586): 1292-1295. Disponible en: <doi.org/10.1126/science.abm5611>, consultado el 21 de marzo de 2021.

Noticias de la Academia Mexicana de Ciencias

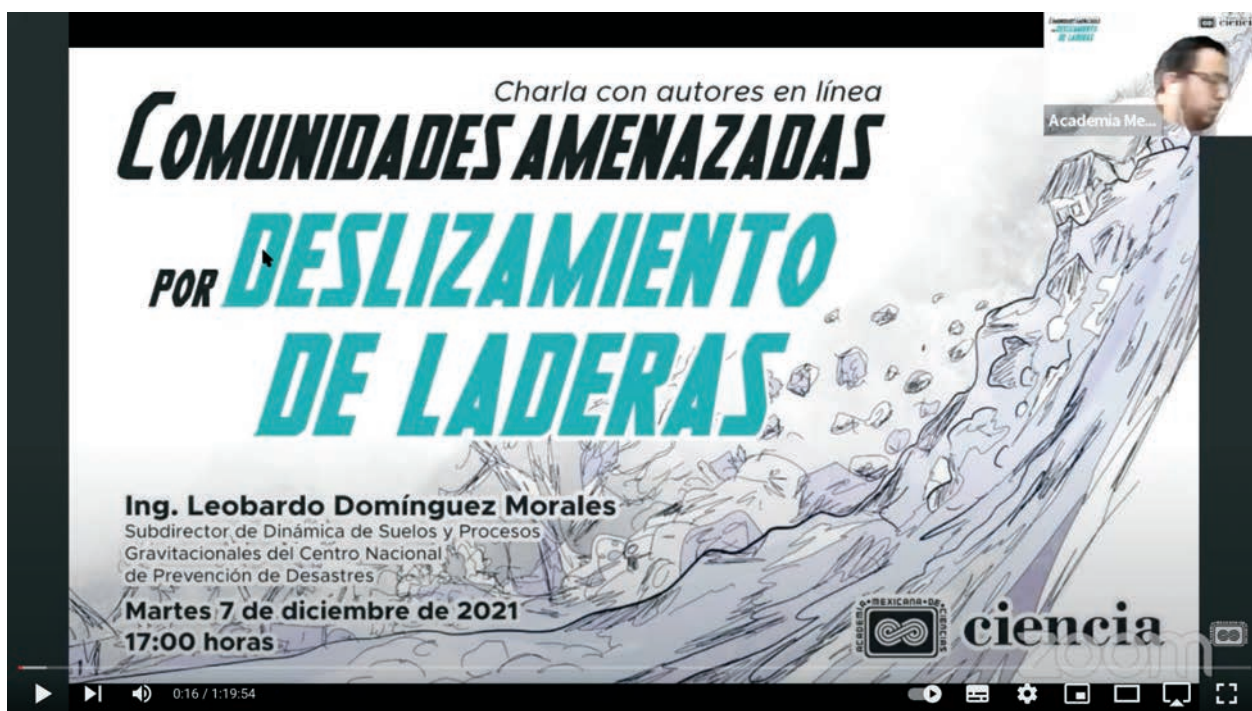


Conferencias virtuales de la AMC

Debido a la pandemia por la COVID-19, la AMC inauguró diversos ciclos de conferencias virtuales en sus canales de redes sociales. Las transmisiones dieron inicio en julio de 2020 y han incluido a investigadores de temas especializados con relevancia científica para el país.

Charlas con autores de la revista Ciencia de la AMC

Continúan las pláticas con diversos autores que han contribuido en los números de la revista *Ciencia*. Además de seguirse en vivo en los diferentes canales de redes sociales de la AMC, pueden consultarse las charlas más recientes:



- “Comunidades amenazadas por deslizamiento de laderas”, con Leobardo Domínguez Morales del Centro Nacional de Prevención de Desastres, 7 de diciembre de 2021, disponible en: https://youtu.be/s_X4zv4PXCl.
- “El extraño caso de las proteínas multifuncionales”, con Abraham Omar Rivera Ramírez de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 15 de febrero de 2022, disponible en: <https://youtu.be/QsDlzpLqLvLg>.
- “La importancia del tratamiento de la enfermedad de Parkinson”, con Laura Virginia Adalid Peralta del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía, 1 de marzo de 2022, disponible en: <https://youtu.be/W-aTg1iNBCs>.
- “El diablito, la sirena y otros transgénicos”, con Angélica López Rodríguez de la Universidad Juárez del Estado de Durango, 8 de marzo de 2022, disponible en: <https://youtu.be/qcgAdnvK0CU>.

Tu mundo con ciencia, conferencias para jóvenes

Tu mundo con ciencia, ciclo de conferencias impartido por exganadoras de las Becas para Mujeres en

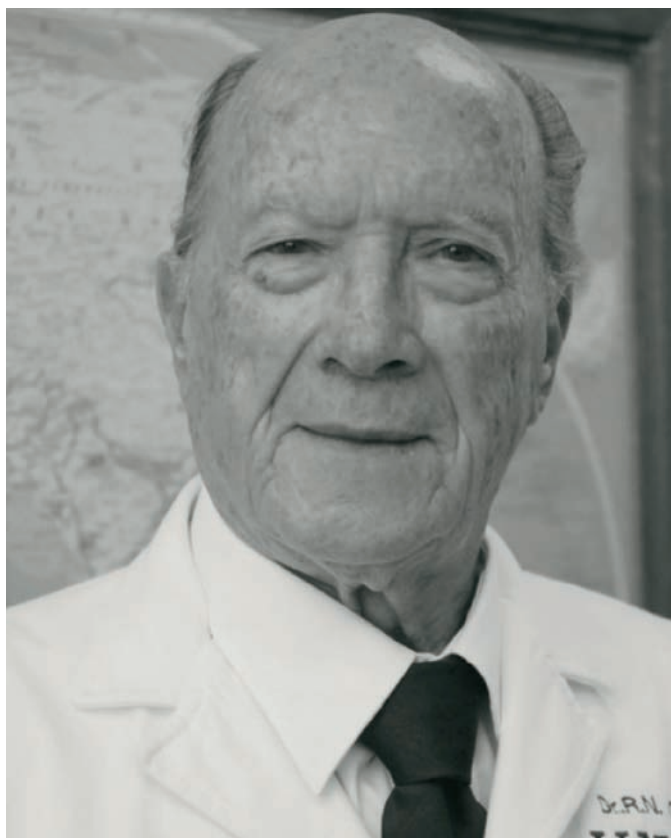
la Ciencia L’Oréal-Unesco-AMC, se lleva a cabo el segundo jueves de cada mes y se transmite por los canales de las redes sociales de la AMC. Las conferencias están dirigidas a jóvenes de nivel bachillerato, para fomentar las vocaciones científicas. En el primer trimestre de 2022 se realizaron las siguientes:

- “De la genética a la epigenética: historias de moscas y humanos”, con Viviana Valadez del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, 13 de enero de 2022, disponible en: https://youtu.be/UO9_KRFFaWE.
- “Agua de uso, no de abuso”, con Issis Romero de la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional, 10 de febrero de 2022, disponible en: <https://youtu.be/iEZWmF6EMHY>.
- “¿Cómo cambiar el color con un interruptor?”, con María del Carmen Ortega del Instituto de Ciencias Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México, 10 de marzo de 2022, disponible en: https://youtu.be/ZjxF_zj5omY.



Obituario

La Academia Mexicana de Ciencias lamenta profundamente el fallecimiento del doctor Raúl Ondarza Vidaurreta, quien fuera presidente de la AMC durante 1971.



ACTIVIDADES

ABRIL - MAYO 2022



1

CIENCIA ABIERTA AL TIEMPO
Integración social a través del diseño
Dra. Berthana María Salas Domínguez
Diseño, discapacidad e inclusión
Dr. Elías Barón Levin Rojo
10:00 h / UAM Radio 94.1 FM

5

MARTES UAM DE HUMANIDADES
Nuevas Normalidades: Experiencias, retos y soluciones para una nueva era post-pandemia
Frida y Diego usan cubrebocas: Acciones de instancias de arte y cultura ante una pandemia
18:30 h / Facebook LIVE
@ConocimientoUAM

7

JUEVES UAM DE CIENCIAS
Láseres: de Star Wars a Palenque
Rompecabezas cósmico: El láser en la astronomía
18:30 h / Facebook LIVE
@ConocimientoUAM

8

CIENCIA ABIERTA AL TIEMPO
Políticas públicas y aspectos sociales para el desarrollo de poblaciones marginadas
Dra. María del Pilar Berrios Navarro
Pueblos urbanos
Dra. Lucía Álvarez Enríquez
10:00 h / UAM Radio 94.1 FM

12

MARTES UAM DE HUMANIDADES
Big Brother: discurso político, vigilancia y control
Democracia digital y participación ciudadana: Innovación democrática y nuevas tecnologías
18:30 h / Facebook LIVE
@ConocimientoUAM

15

CIENCIA ABIERTA AL TIEMPO
Gentrificación, conflictos urbanos
Dr. Adrián Hernández Cordero
Desplazamiento
Dra. Margarita del Carmen Zárate Vidal
10:00 h / UAM Radio 94.1 FM

19

MARTES UAM DE HUMANIDADES
Big Brother: discurso político, vigilancia y control
Edificios inteligentes: Estética y arquitectura
18:30 h / Facebook LIVE
@ConocimientoUAM

21

JUEVES UAM DE CIENCIAS
Láseres: de Star Wars a Palenque
Walle en acción: Láser en la industria automotriz y la impresión en 3D
18:30 h / Facebook LIVE
@ConocimientoUAM

22

CIENCIA ABIERTA AL TIEMPO
Megaproyectos, turismo para el desarrollo
Dr. Alfonso Rivas Cruces
Proyectos sustentables
Dra. Alejandra Toscana Aparicio
10:00 h / UAM Radio 94.1 FM

26

MARTES UAM DE HUMANIDADES
Big Brother: discurso político, vigilancia y control
¿Somos el error de la matrix?
Teorías de existencia y multiversos
18:30 h / Facebook LIVE
@ConocimientoUAM

28

JUEVES UAM DE CIENCIAS
Láseres: de Star Wars a Palenque
Jedi vs Sith: El láser en la cinematografía
18:30 h / Facebook LIVE
@ConocimientoUAM

29

CIENCIA ABIERTA AL TIEMPO
Creatividad y espacio urbano
Dra. Adriana Helia Larralde Corona
Asentamientos urbanos y espacios públicos
Mtro. Amador Romero Barrios
10:00 h / UAM Radio 94.1 FM

3

MARTES UAM DE HUMANIDADES
Big Brother: discurso político, vigilancia y control
¿Política en la ciencia o manipulación del lenguaje?
18:30 h / Facebook LIVE
@ConocimientoUAM

6

CIENCIA ABIERTA AL TIEMPO
Big data
Dr. Christian Lemaitre León
Seguridad digital
Dra. Rosario Cárdenas Elizalde
10:00 h / UAM Radio 94.1 FM

12

GUÍA INTRODUCTORIA PARA LA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS EN REVISTAS ACADÉMICAS
Renata García
Customer Relations Executive
Editorial Emerald Publishing
12:00 h / bit.ly/UAM12mayo

13

CIENCIA ABIERTA AL TIEMPO
Educación para el futuro
Dra. Erika Cecilia Castañeda Arredondo
Tecnologías de la información para una sociedad más justa
Mtro. Miguel Ángel Gallegos Cárdenas
10:00 h / UAM Radio 94.1 FM



@uam.mx



@instauam



@Yo_SoyUAM

#SoyUAM

www.uam.mx

En nuestro próximo número
de julio-septiembre de 2022:

Novedades científicas



Mosca soldado negra



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

